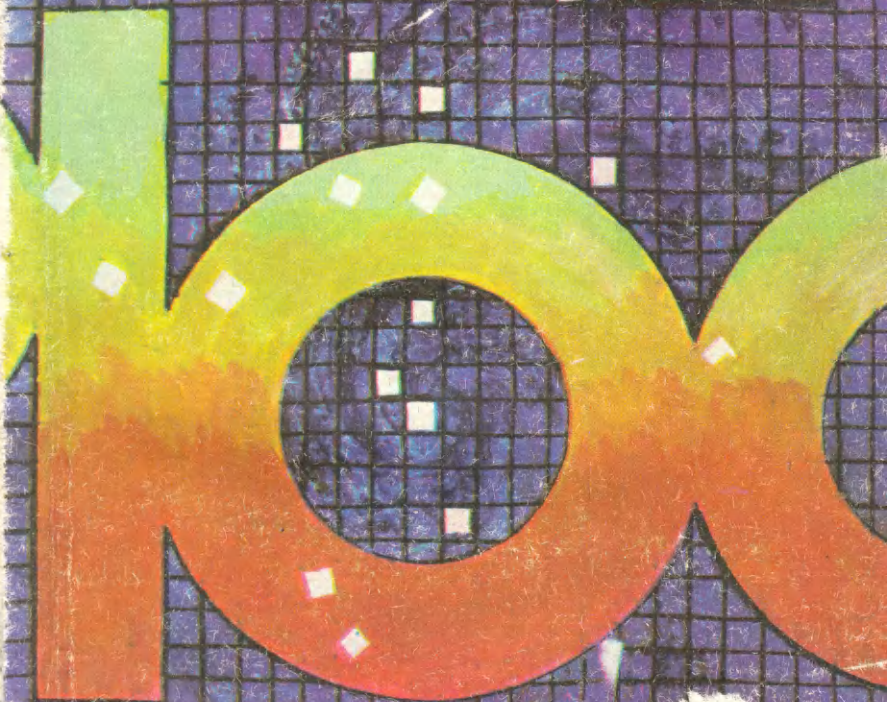




НАУКА
И ПРОГРЕСС



Е. СЕДОВ ОДНА ФОРМУЛА И ВЕСЬ МИР

Е. СЕДОВ

**ОДНА
ФОРМУЛА
И
ВЕСЬ
МИР**



НАУКА
И ПРОГРЕСС

**КНИГА
ОБ ЭНТРОПИИ**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЗНАНИЕ»
МОСКВА
1982**

ББК22.3

С28

Рецензенты: доктор философских наук Л. Б. Б а ж е н о в,
доктор физико-математических наук И. М. Я г л о м.

Седов Е. А.

С28 Одна формула и весь мир. Книга об энтропии. М.: Знание, 1982.—176 с.— (Наука и прогресс).

35 к.

70 000 экз.

В энциклопедическом справочнике сказано. «Понятием энтропии широко пользуются в физике, химии, биологии и теории информации». Как же произошло, что понятие энтропии, введенное немецким физиком Р. Клаузиусом в термодинамику, «перекочевало» затем и в химию, и в биологию, и в теорию информации? И самое главное, почему это случилось?

Автор отвечает на эти вопросы.

Книга рассчитана на широкие круги читателей.

1704000000—010

С 1704000000—010 **32—82**

073(02)—82

ББК 22.3

53

© Издательство «Знание», 1982 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Царица мира и ее тень (Пролог) 5

Глава 1. Проникновение в сущность 13

Всеобъемлющий ум. Кто ошибался? Инкогнито. Крестный отец. Вечные двигатели. Функция состояния. Вселенная под угрозой. Пробелы в теории. Несчастливый билет 13

Погружение в микромир Энтропия и вероятность
Читали ли вы Шекспира? Формула хаоса 20

Несправедливость. От Больцмана до Шеннона. Бандвагон от науки. Движение без трения и информация без смысла. Джинн покидает бутылку. Запретите радиосвязь! 25

Глава 2. Порядок и хаос вступают в союз 39

Как выглядит энтропия? Эксперименты с буквами
Странные фразы. Информация и порядок. У птенцов нет плавников. Текст из одних «А» 39

Затмения Солнца. Сердце и нервы. Классика и модернизм. Театр абсурда. Словесная удача. Законодательницы мод. В поисках золотой середины 52

Прелесть случайностей. Спонтанная архитектура. Формула счастья. «Чтоб не заглохла нива жизни...» Подражание муравьям 65

Глава 3. Выручай, энтропия! 73

Мой просвещенный друг. Информация и Нус. Мудрецы созерцают мир. За свободу воли! О споре, длящемся 2500 лет. Как рождались кентавры. Любовь побеждает вражду 73

Запрограммированный мир. Диалектическая спираль
Наука на костылях. Беспольные книги. Не пророк, а угадчик. В чем виноват Ньютон? Статистический фатализм 83

«Своеволье» микрочастиц. О беспричинном хаосе.
И да, и нет. Серая логика мозга. Зачем понадобился шум? Право вето Энтропия спасает мозг. Шея жирафа
Долой случайности. Генная инженерия 90

Глава 4. Петух с конским хвостом 105

Бритва о двух остриях. Самая мудрая книга. Трагедия Дарвина. Исторические носы. Язык, возникший сам по себе. Книжки на камне. Ожившая информация Модели движения 105

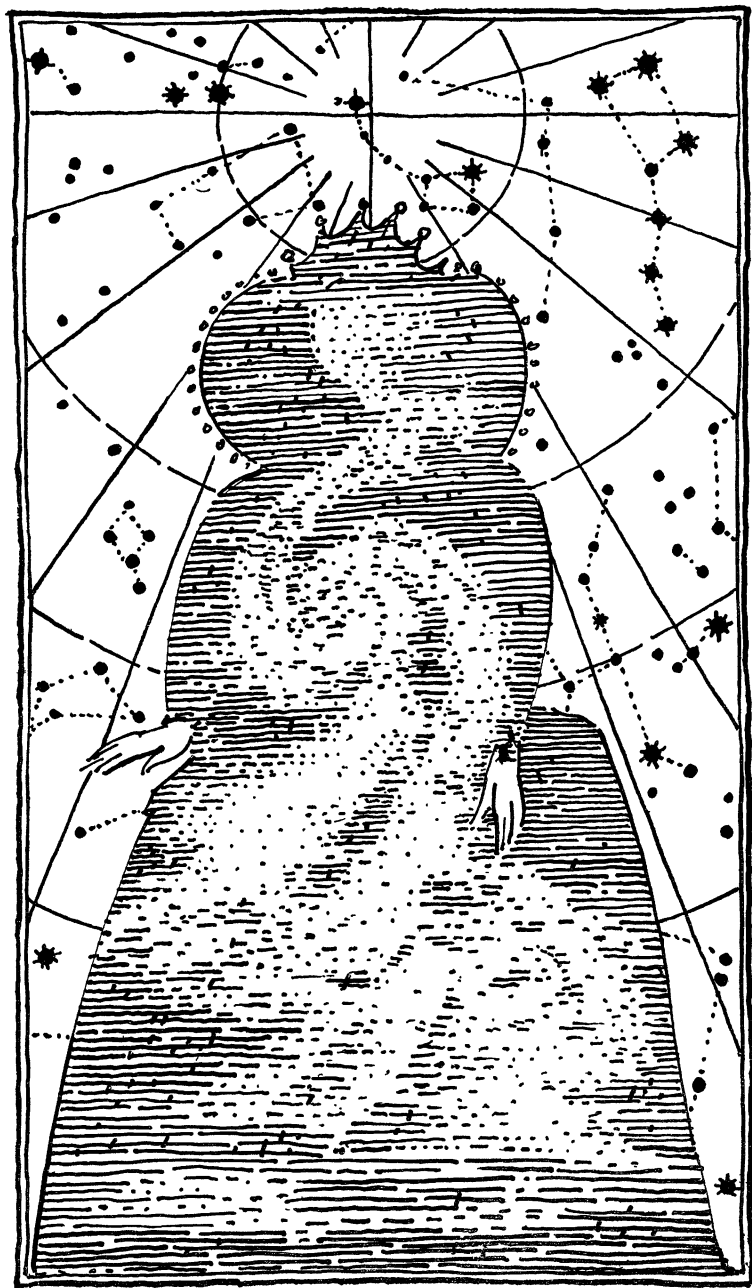
Недостающий закон. Концентратор энергии. Как дрессируют собаку. От слона к амёбе. Вверх по спирали. От двух до пяти. Информация для галактик. Реанимация Вселенной 119

Операция «Даннинг». Уровень шума. Снова веки истории. Пресловутое «вдруг». Гениальная молния. Двадцать строк из Вергилия. Гулливер у лаптян. Творец или робот? Проблема дилетантизма 140

К истокам гармонии (Эпилог) 167

Литература 171

Д. С. К о н т о р о в Проблема энтропии в современной науке (Послесловие) 172



ЦАРИЦА МИРА И ЕЕ ТЕНЬ (ПРОЛОГ)

Героиня этой книги — энтропия. Кто скрывается под этим именем? Таинственная незнакомка?

Если угодно, то да. Десятки лет с этим именем была связана некая научная тайна. Австрийский ученый Людвиг Больцман первым рискнул приподнять над ней завесу. Он предложил вероятностную формулу, раскрывающую физический смысл энтропии.

Почти сто лет понятие энтропии связывалось с представлениями о разрушении, хаосе, тепловой смерти Вселенной. «Царица мира и ее тень» — так назвал свою популярную книгу об энтропии профессор Йенского университета Феликс Ауэрбах. Во всей научно-популярной литературе вряд ли найдется книга, название которой было бы в такой же мере поэтичным и грустным.

Царица мира — это энергия. Тень ее — энтропия. Щедрая, могущественная царица одаряет мир силой и бодростью, а тень ее следует за ней неотступно, предвещая не только царице, но и всему ошачливленному ею миру пусть не очень скорую, но неминуемую смерть.

Образ энтропии как тени энергии вполне соответствовал тем представлениям, которые утвердились в науке и считались общепризнанными вплоть до последних лет. Но вот появились на свет кибернетика и теория информации, и образ тени царицы мира перестал соответствовать духу новых научных идей.

Теперь понятие энтропии связывают не только с хаотичным движением молекул нагретого газа — оно включает в себя еще и мутации генов, рождающие новые биологические виды, и ведущийся методом проб и ошибок творческий поиск, и шумовые сигналы, специально подмешиваемые в эвристические (от известного восклицания «Эврика!») программы электронных машин. Если эти процессы лишить содержащейся в них энтропии, они не породят ничего неожиданного, нового. Этот вывод можно распространить на весь окружающий мир.

Непредсказуемостью, энтропийностью обладает в известной мере любой творческий процесс. Именно поэтому физик Нильс Бор считал оригинальные научные взгляды «сумасшедшими идеями», а поэт Афанасий Фет называл яркие художественные детали и образы «безумной прихотью певца»

Регулярно вспыхивающие в последние десятилетия диспуты о «модерне» и классике в музыке или в живописи, о театре абсурда, о «спонтанности» в архитектуре (например, в «Литературной газете» от 8 января 1975 года) — это тоже споры о том, какой долей энтропии должны обладать произведения разных жанров искусства, чтобы, с одной стороны, не превратиться в хаотическое нагромождение красок, форм или звуков, а с другой — отличаться от всего ранее созданного непредсказуемостью, то есть новизной.

Нет, энтропия — это не тень царицы, энтропия — это прекрасная молодая принцесса. Своей вечной и неизбывной молодостью мир обязан именно ей.

Неужели ученые столько лет заблуждались? Нет. Энтропия и в самом деле выражает хаос, и если бы мир достиг состояния с наибольшим значением энтропии, его действительно постигла бы тепловая смерть.

Но это лишь одна сторона явления. Как смерть является необходимым условием обновления жизни, так и наличие энтропии, с одной стороны, угрожает всеобщей тепловой смертью, а с другой — служит источником зарождения нового, будоражит и стимулирует жизнь.

Если бы силой волшебства удалось избавить царицу от ее тени, мир избежал бы тепловой смерти, но его тут же настигла бы другая беда — он превратился бы в машину, обреченную на вечное повторение одних и тех же движений, и каждый день жизни был бы точным повторением предыдущего дня. Если это еще не смерть, то во всяком случае старость, настолько дряхлая, что жизнь превращается в машинальное повторение одних и тех же движений, и ничего нового уже не может происходить.

От такой незавидной участи спасает нас энтропия, та самая, избыток которой грозит будто бы тепловой смертью. В этом и заключается ее двуединая сущность, столь же диалектически противоречивая, как и весь окружающий мир.

Эволюции взглядов на энтропию и посвящена эта книга с печальным началом, но зато с полным светлого, жизнеутверждающего оптимизма концом. Она поможет понять, чем обусловлены и новый подход к самой энтропии и новые «энтропийные» взгляды на весь окружающий мир.

Энтропия — не единственная героиня книги. Другая героиня ее — беспокойная, ищущая, созидаящая и проникающая в тайны природы человеческая мысль.

Со времен древности и до нынешних дней мысль людей неустанно бьется над разгадкой главной тайны природы — над вопросом о том, почему так гармоничен окружающий мир. Откуда взялись крылья у птицы и плавники у рыбы, кто подарил оленю быстрые ноги, а тигру — острые зубы, кто заставил Землю вращаться вокруг себя и одновременно вокруг Солнца, чтобы ночи сменялись днями, а после зимы наступала весна? И наконец, откуда взялось на свете ни с чем не сравнимое по своей сложности и совершенству устройство — мозг человека, породивший вот эту самую не знающую покоя пытливую и созидательную человеческую мысль?

Оказывается, ответы на эти вопросы так или иначе связаны с современной трактовкой понятия энтропии, возникшей благодаря теории информации.

Информация — это третья героиня книги, с которой читателю предстоит часто встречаться на ее страницах.

До создания теории информации в понятие «информация» никто не пытался вкладывать строгий научный смысл. Слово «информация» толковалось как простое осведомление о чем-либо. Факты, новости, сведения, полученные путем общения, чтения или наблюдения и все подобное этому объединялись в одном слове «информация» практически во всех толковых словарях и энциклопедических справочниках. Такое определение информации казалось вполне исчерпывающим как для науки, так и для повседневной практики до тех пор, пока не возникла необходимость в количественном измерении всех этих новостей, сведений, знаний с помощью специально введенных для этой цели единиц (бит).

Измерение количества информации — не прихоть «кабинетных» ученых. Сама жизнь поставила перед наукой эту проблему. Наше время — это время необычайного возрастания скоростей, время стремительного движения. Никто уже не удивляется тому, что весть о каком-либо событии с быстротой молнии облетает весь земной шар. А самой информации появляется столько и она так многообразна, что этот процесс невольно стали сравнивать со взрывом. Вошло в обиход понятие информационного взрыва, с которым надо было как-то справиться, как-то его «укротить». Вот так и возникла потребность в машинной переработке огромных массивов информации и хранении ее в памяти электронных систем. В связи с этим задач — и теоретических, и практических — пришлось решить не-

мало. Но возникают все новые и новые. В частности, информационные потоки продолжают нарастать, поэтому надо все время увеличивать быстродействие электронных машин и объемы их памяти.

Но чтобы решить задачу количественного измерения информации, надо было отойти от традиционного понимания информации и выработать некий универсальный подход. Прикладная поначалу задача явно переросла в естественнонаучную. И стоило лишь науке отыскать универсальный способ измерения информации, как ему сразу открылась широкая дорога в самые различные отрасли знания — от физики до языкознания... Ныне в научных изданиях можно встретить утверждения, которые в прошлом были просто невозможны. Например, такое: микроскопическая половая клетка содержит в себе такое количество наследственной информации, которое не уместилось бы на страницах тысячи книг.

Позвольте, сказал бы некто в недалеком прошлом, книга содержит мысли и чувства ее автора, какие-то сведения, но причем здесь половая клетка, о какой информации тут можно говорить!? Вы объединяете в одно разные вещи... Конечно, разные. И конечно же, не разные. К такому подходу надо было привыкнуть и уже, кажется, привыкли, как привыкли к тому, что природа света одновременно и корпускулярная и волновая.

Для измерения количества информации американский ученый К. Шеннон предложил использовать заимствованную у термодинамики вероятностную формулу энтропии. Сначала многие ученые, включая и самого Шеннона, склонны были объяснять этот факт ссылками на удобства расчетов. Но постепенно стал проявляться скрытый ссылкой на удобства глубокий смысл. Информация содержится не только в книге. Она есть и в живой клетке, и в мертвом кристалле, ее может хранить и наша естественная память и память бездушной машины. Информационное взаимодействие так же присуще материальному миру, как присущи ему и другие формы взаимодействий, объединенные таким понятием, как всеобщая связь явлений. Понимание и признание этого открыли перед естествознанием еще один путь познания мира, причин и механизмов возникновения и развития разнообразных самоорганизующихся систем, противостоящих энтропии.

В этой книге читатель узнает о том, как постепенно, с разных ракурсов и со многих заходов наука постигала

сложную и многогранную сущность абстрактного и всеобъемлющего понятия энтропии, пока различные толкования не стали сливаться в единое представление (разумеется, еще далеко не завершенное).

А поняв энтропию и вооружившись ею как новым инструментом познания, можно увидеть в новом ракурсе и переосмыслить многие явления окружающего нас мира.

Решившись рассказывать об этих больших событиях в современной науке в форме, доступной широкому кругу читателей, автор заранее просит прощения у специалистов обсуждаемых здесь областей точных наук. Говоря о главном, приходится опускать многие частности, которые кажутся необходимыми специалисту, но могут увести в сторону тех, кто не подготовлен заранее к обсуждению этих проблем. Специалисты вправе упрекнуть автора в том, что, рассказывая о преемственности статистической теории энтропии и об использовании формулы Больцмана в теории информации, автор не упомянул, что в теореме Больцмана эта формула имела несколько иной вид. Умолчать пришлось и о том, что функция $\sum p_i \log p_i$ пригодна лишь для дискретных случайных событий, а широкое ее применение обусловлено тем, что непрерывно меняющаяся информация тоже может передаваться дискретно с определяемой теоремой Котельникова частотой.

Специалист может настаивать также на том, что автору не следовало называть энтропийными разнообразные случайные (иррегулярные, стохастичные) процессы, не уточнив предварительно, что величина энтропии может быть подсчитана либо для заданного непрерывного закона распределения вероятностей, либо для полной группы случайных событий. И наконец, если относиться к научной терминологии с подобающей строгостью, то следовало сказать, что энтропия — это мера, степень неопределенности (хаотичности) вероятностных (стохастичных) систем и процессов, и не отождествлять энтропию с самим хаосом, как это сделано ради образности и краткости и в этой книге, и в книге Ф. Ауэрбаха «Царица мира и ее тень», и в целом ряде других популярных статей и книг.

Признавая справедливость всех этих и еще многих подобных им уточнений, я все же намеренно опускаю их в дальнейшем рассказе, поскольку любое попутное замечание подобного рода повлекло бы за собой необходимость объяснять не знакомому с теорией информации и теорией вероятностей читателю, что такое полная группа

событий, что понимается под плотностью вероятности, в чем суть теоремы Котельникова и т. д. и т. п.

Все подобные объяснения неизбежно уводили бы нас в сторону от центральной проблемы, незаметно превращая книгу в научный трактат. Вот почему в целом ряде случаев мне приходилось жертвовать точностью научной терминологии и строгой логикой изложения, а многие, может быть, даже весьма существенные вопросы либо вообще обходить молчанием, либо затрагивать лишь бегло и вскользь.

Пусть придирчивый критик простит мне подобные вольности. Я стремился к тому, чтобы деревья не помешали читателю увидеть леса, осознать глобальный и даже космогонический смысл выдвинутых современной наукой проблем.

Можно надеяться, что книга стимулирует любознательного читателя к более детальному изучению затронутых на ее страницах вопросов. Не исключено, что кто-нибудь из читателей захочет углубиться в эти вопросы и со временем сможет докопаться до таких тонкостей, которых пока еще не отыщешь не только в научно-популярной литературе, но и на страницах специальных журналов и книг.

Многие из обсуждаемых здесь вопросов еще далеки от окончательного решения. До сих пор есть в науке противники обобщающего взгляда на информацию и энтропию, считающие, что до появления жизни не было никакой информации, и возражающие против попыток распространения общих закономерностей и информационно-энтропийных соотношений на весь окружающий мир.

Можно ли на этом основании упрекать автора в поспешности, в «забегании вперед»? Конечно, можно: бытует же мнение о том, что популярная литература не должна выходить за пределы истин, затвержденных у учебниках!

Такое мнение вряд ли можно признать стопроцентно верным. Оно, в сущности, ставит под сомнение само существование популярной литературы о сегодняшней науке и ее дерзких исканиях.

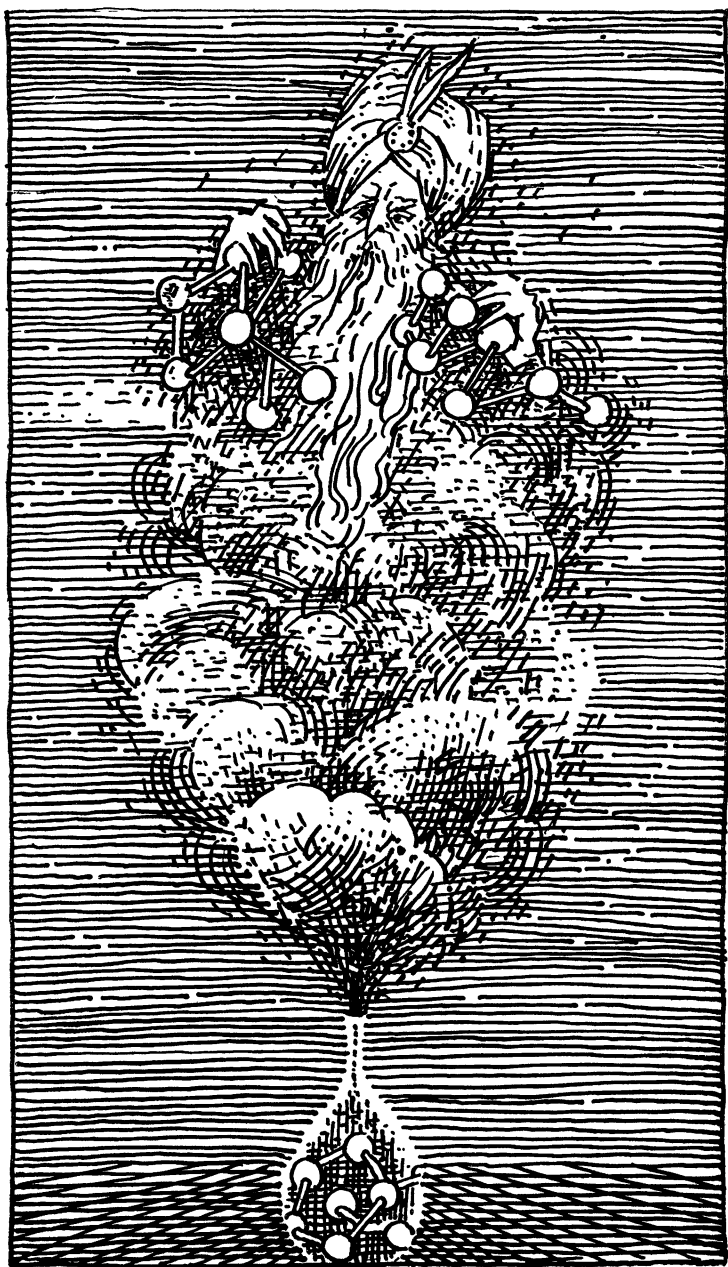
Это — одна сторона дела.

Другая заключена в том, что «забегание вперед» в данном случае весьма относительно, поскольку неуклонно растет число сторонников обобщающего информационно-энтропийного подхода; их работы в настоящее

время составляют по отношению к публикациям приверженцев противоположного взгляда подавляющее большинство.

Надеюсь, что эта книга сможет убедить читателя в том, что картина развития материального мира, рассматриваемого сквозь призму единых информационно-энтропийных соотношений, полностью соответствует общим законам, которые еще задолго до создания теории информации сформулировал диалектический материализм. Ключом к познанию статистических механизмов, управляющих процессами развития конкретных объектов материального мира, может служить исследование взаимосвязи таких естественнонаучных категорий, как вещество, энергия, информация, энтропия.

Разумеется, высказываясь по поводу тех или иных все еще дискуссионных научных аспектов, автор не претендует на роль глашатая истин в последней инстанции, а лишь излагает ту точку зрения, которая на сегодняшний день представляется ему наиболее плодотворной и помогает глубже понять мир, в котором мы с вами живем.



**ВСЕОБЪЕМЛЮЩИЙ УМ. КТО ОШИБАЛ-
СЯ? ИНКОГНИТО. КРЕСТНЫЙ ОТЕЦ.
ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ. ФУНКЦИЯ СО-
СТОЯНИЯ. ВСЕЛЕННАЯ ПОД УГРОЗОЙ.
ПРОБЕЛЫ В ТЕОРИИ. НЕСЧАСТЛИВЫЙ
БИЛЕТ**

В начале прошлого века выдающийся математик, член Парижской академии наук Пьер Симон Лаплас написал приложение к одному из изданий своих трудов, назвав его «Опыт философии теории вероятностей». Главная идея работы выражена Лапласом в следующей фразе, впоследствии повторявшейся на страницах научной и популярной литературы не одну сотню раз:

«Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движение величайших тел Вселенной наравне с движениями легчайших атомов: не оставалось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошедшее предстало бы перед его взором».

Спустя несколько десятилетий после выхода в свет упомянутой книги Лапласа были опубликованы классические работы Рудольфа Клаузиуса и Людвига Больцмана, позволившие установить второй закон термодинамики — закон возрастания энтропии. Сопоставление следствий, вытекающих из распространения закона возрастания энтропии на Вселенную в целом, с той мыслью, которую сформулировал в своей знаменитой фразе Лаплас, приводит к парадоксальному выводу: обзрев все прошлые и будущие состояния Вселенной, обширный лапласовский ум должен был бы предречь для Вселенной... тепловую смерть.

Больше того, для такого грустного вывода вовсе не обязательно обладать всеобъемлюще обширным умом. Такой вывод оказался посильным для умов не фантастических, а реальных. Насколько он верен — это другой вопрос.

Вывод Лапласа о фатальной «запрограммированности» всех будущих состояний Вселенной исключает возможность возникновения каких бы то ни было случайных явлений, не предусмотренных всеобъемлющим обширным

умом. Напротив, теория тепловой смерти Вселенной утверждает, что будущая Вселенная станет подвластной одним лишь непредсказуемым случайностям, поскольку будет представлять собой массу равномерно распределенных в пространстве хаотически движущихся и сталкивающихся друг с другом частиц.

Как увязать между собой эти прямо противоположные выводы? Кто ошибся в своих рассуждениях — Клаузиус и Больцман или Лаплас? Почему не кто иной, как Лаплас, труды которого легли в основу современной теории вероятностей, пришел к выводу, что в окружающем нас мире никаких случайностей, по сути дела, и нет, а если мы не знаем заранее всех грядущих событий, то виной тому только отсутствие всеобъемлющего ума?

Не так-то просто найти ответы на эти вопросы. Спор о соотношении случайности и предопределенности происходящих в мире явлений, начатый еще древнегреческими философами, продолжается и в наши дни. (Правда, теперь он ведется на другом философском уровне и на иной естественнонаучной основе.) И все же нам кое-что станет ясным, если мы сопоставим представления об энтропии, заложенные в трудах Рудольфа Клаузиуса и Людвиг Больцмана, с теми, которые сформировались ныне под влиянием идей, высказанных нашим современником, американским ученым Клодом Эльвудом Шенноном.

Функция энтропии была введена в науку Р. Клаузиусом в статье, опубликованной в журнале «Физический ежегодник» в 1854 году, хотя в этой статье слово «энтропия» произнесено еще не было. Энтропия вошла в науку инкогнито, в виде очень простой по форме и совершенно неясной по своему физическому содержанию формулы

$$S = \frac{Q}{T}.$$

Здесь буквой S обозначена функция, вскоре названная Р. Клаузиусом энтропией, буквой T обозначена абсолютная температура физического тела, а буквой Q — количество сохраняемого этим телом тепла.

Клаузиус термин «энтропия» образовал из греческого корня «тропэ», означающего «превращение», к которому он добавил приставку «эн». Приставкой Клаузиус хотел подчеркнуть родство введенного им в науку понятия с уже общепризнанным в то время понятием энергии. «Обе величины, названные этими словами, — писал Клаузиус, — настолько близки друг к другу по физической зна-

чимости, что известное сходство в названиях кажется мне целесообразным».

Корень «тропэ» Клаузиус употребил потому, что с помощью энтропии удалось проанализировать процессы превращения одних форм энергии в другие, в частности превращение тепловой энергии в полезную механическую работу.

Проделанный Клаузиусом анализ навсегда рассеял иллюзии насчет получения полезной работы «задаром». Первый поток хитроумных проектов вечного двигателя проистекал от успехов механики. Авторы подобных проектов пытались перехитрить природу комбинацией из зубчатых и ленточных передач, тяг и штоков, скатывающихся по желобкам шариков, гидравлических приводов и всплывающих поплавков. Но потом обнаруживались не учтенные авторами проектов потери энергии, из-за которых любой «вечный» двигатель раньше или позже был обречен на вечный покой.

Закон сохранения энергии (впоследствии названный первым законом термодинамики) подвел итог всем попыткам перехитрить природу, доказал их несостоятельность и утвердил мнение о том, что черпать энергию «ниоткуда» принципиально нельзя. Так первый закон термодинамики положил конец бесплодным растратам творческой энергии на создание вечных двигателей первого рода.

Второй закон термодинамики — закон возрастания энтропии — отверг возможность создания вечных двигателей второго рода, то есть тепловых машин, производящих работу за счет циркулирующего в них тепла.

— Нет,— утверждал закон энтропии,— тепло не будет циркулировать вечно. Машина может производить работу лишь до тех пор, пока между нагретым телом (источником) и охлажденным телом (холодильником) сохраняется разность температур. Согласно второму закону термодинамики отдаваемое тепло может быть превращено в работу только частично. Другая же его часть тратится на нагревание холодильника и составляет бесполезный отход. Точнее, даже не бесполезный, а вредный, поскольку за счет этой энергии уменьшается разность температур между источником тепла и холодильником. А с уменьшением разности температур снижается эффективность машины, подобно тому как теряется сила водяной мельницы, если какая-нибудь неисправность плотины уменьшает разность уровней вращающей мельничные колеса воды. Но

если плотину можно отремонтировать, то «исправлять» тепловую машину бессмысленно: из закона возрастания энтропии вытекает неизбежность уменьшения разности температур. Тепло, безвозмездно отданное холодильнику и не производящее никакой полезной работы, — это «энтропийная плата» за ту полезную энергию, которую мы извлекаем из тепловых машин. Отсюда вторая формулировка второго закона термодинамики: нельзя создать тепловой машины с коэффициентом полезного действия 100 процентов, ибо в такой машине все тепло источника превращалось бы в полезную работу, а холодильнику нечем было бы «платить».

Потери здесь необратимы: нельзя без затраты полезной энергии заставить тепло перейти обратно от охлажденного тела к нагретому и увеличить разность температур. Закон возрастания энтропии запрещает теплу течь в обратную сторону. И если технике удалось создать холодильник, отдающий свое тепло более нагретому окружающему воздуху, то при этом большая часть полезной энергии (например, электрической) все равно расходуется на разогрев окружающего пространства, на уменьшение разности температур между источниками полезной энергии и окружающей их средой.

Закон всегда остается незыблемым. Вот почему первый и второй законы термодинамики стали не только физическими, но и юридическими законами: во всех патентных бюро мира на заявки изобретателей вечных двигателей первого или второго рода был объявлен запрет.

Но это всего лишь начало славной истории понятия энтропии. И начало это было по-своему многозначительным. Уже тогда новому понятию оказались тесными рамки теории тепловых машин, — оно тотчас распространило свое влияние на весь мир, на всю Вселенную, посулив ей неизбежную тепловую смерть.

Простая логика приводила ученых к этому выводу. Второй закон термодинамики — общий закон природы. Все естественно протекающие в природе процессы порождают рост энтропии, которому соответствует равномерное распределение тепла и выравнивание температур. Значит, согласно этой теории Солнце, отдав тепло Земле и окружающему пространству, перестанет светить и греть. Такая же участь должна постигнуть и другие светила Вселенной. Вселенная превратится в омертвелый резервуар равномерно разлитого по всему миру тепла.

С момента возникновения физики вряд ли можно назвать другие физические законы, которые импонировали бы религии больше, чем закон возрастания энтропии. Открытия физики, как правило, противоречили церковным догматам, так как давали простые объяснения тем материальным явлениям, в которых религия усматривала вмешательство и участие высших сил. А тут вдруг такое единодушие: религия проповедует конец света, а физика формулирует соответствующий научный закон!

А поскольку-де научно доказан предсказанный священным писанием «конец света», можно обосновать и факт его сотворения богом. Такую концепцию попытался построить английский ученый Дж. Джинс. Вселенная, по словам Джинса, подобна часам, которые когда-то каким-то неведомым образом были заведены и пущены в ход, но которые неизбежно должны будут остановиться, так как «они сами себя завести не могут». Кто же мог быть «часовщиком», запустившим однажды Вселенную? Ну, разумеется, бог! «Должно было произойти то, что мы называем «творением», — продолжает рассуждать Джинс. — Современная научная теория заставляет нас думать о творце, работающем вне времени и пространства, которые сами являются частями его творения, совершенно так же, как художник, который находится вне полотна своей картины».

Теологические толкования второго закона термодинамики были обобщены в 1951 году на торжественном заседании папской Академии наук в Ватикане.

— Эта печальная необходимость, — заявил папа Пий XII, имея в виду тепловую смерть Вселенной, — красноречиво свидетельствует о существовании Необходимого Существа.

Незадолго до открытия второго закона термодинамики наука дала такое веское опровержение конца света, как закон сохранения энергии, утверждающий неуничтожимость и несотворимость материального мира. А закон возрастания энтропии фактически сводит закон о неуничтожимости и несотворимости на нет. В самом деле, что толку от вечно сохраняемой миром энергии, если она теряет главное свое качество — способность производить работу! Если вся сохраняемая навеки энергия после выравнивания температуры превращается в равномерно разлитую по миру бесполезную теплоту!

Наряду с попытками построения теологических теорий, опирающихся на теорию тепловой смерти Вселенной,

делались попытки обоснования пессимистических социальных прогнозов, основой которых являлась все та же пресловутая тепловая смерть. Так, например, анализируя книгу О. Шпенглера «Закат Европы», Н. А. Бердяев писал: «...Открытия, которые делает физика нашей эпохи, характерны и для заката культуры. Энтропия, связанная со вторым законом термодинамики, радиоактивность и распадение атомов материи, закон относительности — все это колеблет прочность и незыблемость физико-математического созерцания, подрывает веру в длительное существование нашего мира. Я бы сказал, что все это — физический апокалипсис, учение о неизбежности физического конца мира, смерти мира. Лишь в эпоху заката европейской культуры возникает такое «апокалиптическое» настроение в физике... Физика наших дней может быть названа предсмертной мыслью Фауста».

Так что же можно противопоставить всепобеждающей энтропии? Дух! Бердяев считает, что только «в духовном мире надо искать незыблемости... С ним должны быть связаны наши надежды».

Надежды, конечно, слабые. Если подобной концепцией можно утешить идеалиста, то материалисту-то точно известно, что нет «духа» без «тела», и если проклятая энтропия разрушит (а вернее, обесценит) материю и энергию, то и дух перестанет существовать. Неуточимы не только материя и энергия, но и все многообразие их форм. «...С той же самой железной необходимостью,— писал Энгельс,— с какой она (природа.— *Е.С.*) когда-нибудь истребит на Земле свой высший цвет — мыслящий дух, она должна будет его снова породить где-нибудь в другом месте и в другое время».

Впоследствии мы убедимся, что рождение теории информации и установление диалектического единства и противоположности информации и энтропии по-новому подтверждают сказанные Энгельсом замечательные слова.

Уяснение диалектически противоречивого взаимодействия энтропии и информации позволит нам установить соотношение этих естественнонаучных понятий с такими философскими категориями, как материя и движение, проследить, каким образом общее свойство материи, названное В. И. Лениным способностью отражения, по мере накопления информации из сходных с ощущением простейших форм отображения внешних воздействий, при-

сущих объектам неорганической природы, превращается сначала в способность ощущения, которой наделены простейшие организмы, затем в образное восприятие окружающего мира и, наконец, в безгранично многообразную человеческую мысль.

Пока велись горячие споры о судьбах Вселенной и о том, как должен влиять на Вселенную закон возрастания энтропии, сама энтропия совершала не столь масштабную, а весьма скромную, незаметную, будничную работу — помогала термодинамике изучать физические и химические процессы, связанные с выделением, поглощением и передачей тепла. А поскольку без теплового обмена практически не обходится ни один из подобных процессов, можно представить себе, как важна была эта будничная работа для физики, химии и всех связанных с ними областей техники. Благодаря введению энтропии все основные физические параметры исследуемых объектов (объем, давление, температуру, свободную и связанную энергию) удалось связать между собой. Оказывается, именно энтропии недоставало науке для того, чтобы все параметры объединились в системе уравнений.

С введением энтропии термодинамика стала удивительно стройной и завершенной теорией.

Да, стройной. Да, завершенной. Если бы не одно очень существенное «но». Все параметры уравнений термодинамики (объем, температуру, давление) можно было или измерить с помощью специальных приборов, или даже проверить на ощупь, или на взгляд. Но только не энтропию. Ее невозможно было не только пощупать или увидеть, но даже вообразить. Природа ее оставалась неясной. Ни сам Клаузиус, ни его последователи не могли раскрыть физической сущности энтропии. «Энтропия — есть функция состояния физических тел», — ничего более четкого наука в то время об энтропии сказать не могла.

Пытались идти путем аналогий между «двигательной силой» тепла в тепловой машине и силой падающей и производящей работу воды. При этом разность температур сопоставлялась с разностью уровней наполненных водой резервуаров; аналогом тепла, передаваемого от нагретого тела к холодному, была масса воды. А с чем сопоставить энтропию? С весом воды? Или с ее объемом? В любом случае получалось совсем не то. И энтропия по-прежнему оставалась загадочной «функцией состояния», а как

изменяется состояние тела от изменения его энтропии, никто объяснить толком не мог.

На многие годы энтропия стала проклятием для студентов физических и химических факультетов.

— Только бы не про энтропию! — молили они, вытаскивая экзаменационный билет.

Можно с чувством и с толком объяснить, отчего и как изменяется при нагреве и охлаждении объем и давление. Если даже забудешь, как выглядит график зависимости давления от температуры при постоянном объеме, можно с грехом пополам что-нибудь сообразить. Но отчего изменяется энтропия? Бог весть! Она просто ведет себя, как хочет. Такая уж это хитрая «функция состояния». В лучшем случае можно запомнить все уравнения, в которых встречается условный значок энтропии, можно сохранить в памяти все кривые, изображающие зависимость энтропии от прочих физических величин. Но объяснить...

— Только бы не попался билет с энтропией! — заклинали студенты, не подозревая, что и сам процесс случайного выбора одного экзаменационного билета из многих — это тоже типичнейший энтропийный процесс. Подобное вероятностное толкование энтропии возникло спустя 23 года после упомянутой нами работы Клаузиуса и получило свое дальнейшее развитие и углубление уже в наши дни.

ПОГРУЖЕНИЕ В МИКРОМИР. ЭНТРОПИЯ И ВЕРОЯТНОСТЬ. ЧИТАЛИ ЛИ ВЫ ШЕКСПИРА? ФОРМУЛА ХАОСА

Создателем вероятностной теории энтропии был выдающийся австрийский ученый Людвиг Больцман. Заслуга его заключалась не только в привлечении аппарата теории вероятностей к исследованию энтропийных процессов. Главная идея Больцмана заключалась в том, что сущность энтропии не может быть раскрыта на «ощутимом» и привычном для нас макроскопическом уровне: загадочная «функция состояния» отражает невидимое состояние микроскопических тел.

Это была дерзкая, новаторская идея — попытаться с помощью математики проникнуть умственным взором в невидимый и загадочный микромир.

Правда, Больцман не был здесь первопроходцем: за 17 лет до него не менее смелый и значительный шаг в

глубь микромира совершил выдающийся английский ученый Джеймс Клерк Максвелл.

Максвелл описал с помощью вероятностных уравнений поведение огромного числа молекул газа, помещенного в замкнутый объем. Для этого он создал математическую модель так называемого идеального газа, молекулы которого при столкновениях друг с другом отскакивают в разные стороны наподобие упругих бильiardных шаров. Реальный газ отличается от идеального газа Максвелла тем, что взаимодействие молекул управляется в нем действием не упругих механических, а электромагнитных сил.

Однако на первом этапе исследований вероятностных свойств огромной массы молекул вполне удовлетворительно работала эта созданная воображением выдающегося ученого упрощенная модель. Умственному взору ученого представилась поразительная картина молекулярного хаоса, громадное количество летящих во всех направлениях с различными скоростями молекул и бесконечные их столкновения — в течение каждой секунды молекула испытывает соударения с другими молекулами миллиарды раз. И после каждого соударения столкнувшиеся молекулы изменяют и направление и скорость полета.

Вот и разберись поди в этом бесконечном разнообразии изменяющихся каждое мгновение направлений и скоростей!

С помощью теории вероятностей Максвелл сумел в этом хаосе найти определенный порядок. Каким бы случайным образом ни сталкивались друг с другом молекулы, все равно в конечном итоге они равномерно заполнят все отведенное им пространство. Число и энергия их ударов, приходящихся на каждый квадратный сантиметр стенки сосуда, в среднем будут везде одинаковы. Именно поэтому, после того как газ равномерно заполнит все внутреннее пространство (то есть достигнет состояния равновесия), он будет оказывать на сосуд одинаковое давление в различных его частях. Это свойство усреднения числа молекул, их скоростей и энергий Максвелл выразил с помощью статистических уравнений и вероятностных кривых.

Больцман пошел еще дальше. Он показал, что газ, который выведен из состояния равновесия путем создания в различных частях занимаемого им простран-

ства разницы в температурах или давлениях, всегда стремится вернуться к состоянию равновесия и достигает этого состояния за очень короткое время — порядка 10^{-16} секунды. Молекулы двух разных газов, помещенных в одном сосуде, равномерно перемешиваются друг с другом. Этот процесс физики называют диффузией. В газах она может длиться минуты, в твердых телах — часы, недели и даже годы. Но так или иначе все предоставленные самим себе физические системы стремятся к перемешиванию, к равновесию, к нивелировке. А главная мысль Больцмана заключалась в том, что по мере приближения физических тел к равновесию энтропия будет расти*.

Все эти свойства молекулярного мира, которые нам пришлось объяснять так долго и многословно, Больцман выразил очень коротко с помощью введенной им вероятностной формулы энтропии

$$H = - \sum_i p_i \log p_i.$$

Хочу сразу предупредить читателей, испытывающих неприязнь к непонятным математическим символам: в ходе дальнейшего изложения глубокий смысл этой формулы станет ясен даже тому, кто забыл о существовании логарифмов сразу же после школьной скамьи. Затраченные на это усилия не пропадут даром: вникнув в суть единственной в этой книге формулы, вы откроете для себя горизонты настолько широкие, что порой будет захватывать дух.

Я убежден в том, что в недалеком будущем каждому интеллигентному человеку необходимо будет не только знать о существовании вероятностной функции энтропии, но и понимать ее глубокий естественнонаучный смысл. Именно этой функции, по-видимому, суждено стать одним из мостов между теми двумя культурами, о которых пишет Чарлз Перси Сноу**.

«Множество раз, — рассказывает Сноу, — мне приходилось бывать в обществе людей, которые по нормам тра-

* Исходя из этого свойства энтропии, известный американский физик Дж. Гиббс называл энтропию «размешанностью» (mixed-upness).

** Сноу Ч. П. — известный современный английский писатель, ученый и публицист, автор одиннадцатитомной эпопеи «Чужие и братья». Приводимые ниже высказывания заимствованы из книги Сноу «Две культуры» (Прогресс, 1973), по поводу которой во всем мире разгорелся спор «физиков» и «лириков» о соотношении пользы и ценности искусства и точных наук.

диционной культуры считаются высокообразованными. Обычно они с большим пылом возмущаются литературной безграмотностью ученых. Как-то раз я не выдержал и спросил, кто из них может объяснить, что такое второй закон термодинамики. Ответом было молчание или отказ. А ведь задать этот вопрос ученому значит примерно то же самое, что спросить у писателя: «Читали ли вы Шекспира?»

«Получается так,— с горечью констатирует Сноу,— что величественное здание современной физики устремляется ввысь, а для большей части проникательных людей западного мира оно также непостижимо, как и для их предков эпохи неолита».

Слова Сноу приведены здесь не для того, чтобы между «физиками» и «лириками» вновь вспыхнул и без того уже достаточно затянувшийся спор. У нас другая задача. Опоэтизировать (жаль, что нет для такого понятия менее неуклюжего слова!) науку — вот о чем в глубине души мечтал автор, приступая к работе над книгой.

«А надо ли поэтизировать науку? — вправе спросить читатель у автора.— Наука сама по себе достаточно стройна и красива и вполне обходится как без косметических, так и без поэтических средств».

Да, наука и искусство имеют различные средства, задачи и цели. Порой их задачи и цели могут даже противоречить друг другу, так же как далеко не всегда пребывают в согласии и гармонии интеллект и эмоции в каждом из нас. Принято считать, что наука способствует пониманию окружающего нас мира, искусство же стремится понять и выразить отношение человека и к окружающему миру, и к тому, как этот мир трактует наука, и, наконец, к тому, как отражает само искусство и человека, и науку, и весь окружающий мир.

И все же в конечном счете наука и искусство воздвигают не два различных изолированных здания, в которых, согласно утверждениям Сноу, независимо произрастают две разные культуры, а единое здание — общечеловеческую культуру.

В этом здании наука призвана служить постижению Истины, а искусство — воспевать, отвоевывать и создавать Красоту. Достаточно вспомнить, что Истина красива, а Красота истинна, чтобы понять: все достижения человеческой культуры смыкаются в неразрывный круг.

В строительстве величественного здания общечелове-

ческой культуры теории информации предстоит выполнять роль цемента. В самом деле, «величественное здание физики», которое, по мнению Сноу, строится особняком от гуманитарных наук и искусства, для энтропии теперь стало слишком мало. Ведь с помощью энтропии теперь решаются не только физические проблемы. Благодаря теории информации энтропия стала эффективно использоваться и биологией, и психологией, и лингвистикой, и искусствоведением, и... В общем, сейчас трудно даже назвать область знаний и творчества, для которых не был бы актуален новый энтропийно-информационный подход.

Будем надеяться, что после всего сказанного читатель не захлопнет в сердцах эту книгу, встретив в очередной раз пока еще непонятные ему математические символы. По крайней мере он попытается прежде приложить немного усилий, чтобы понять, в чем заключается смысл замечательной функции энтропии и что таят в себе ее «каббалистические» знаки. Тем более что усилий нужно не так уж много, поскольку теория информации пролила на энтропию достаточно яркий свет. Благодаря теории информации наука стала исследовать энтропию не только незримых микропроцессов, но и таких доступных для непосредственных наблюдений объектов, как изображение на телеэкране или печатный текст.

Больцману было много труднее, поскольку с помощью этой функции он исследовал не доступный непосредственным наблюдениям, а лишь воображаемый микромир. И все же ему удалось «увидеть», как в таком мире ведет себя энтропия: она возрастает в том случае, если вероятности всех скоростей и положений молекул приближаются друг к другу. Так, например, разбив мысленно все занимаемое газом пространство на N равных по объему ячеек, можно утверждать, что энтропия достигнет максимума, когда все молекулы равномерно распределятся по всем N ячейкам.

Переходя на язык теории вероятностей, можно сказать: энтропия достигнет максимума, когда вероятность нахождения молекулы в 1-й ячейке равна вероятности нахождения ее в 5-й ячейке или в любой другой ячейке из общего числа N . Обозначив через p_i вероятность того, что молекула находится в i -й ячейке, и считая, что i может принимать любые значения от 1 до N ($i = 1, 2, 3, \dots, N$), запишем условие максимального значения энтропии, соответствующее наиболее беспорядочному, хаотичному расположению молекул в ячейках

$$p_1 = p_2 = \dots = p_i = p_N.$$

При таком условии функция $\sum_i p_i \log p_i$ имеет наибольшую величину*. В этом как раз и заключается ее главное свойство и, если угодно, ее безграничная (распространяющаяся на всю Вселенную!) вездесущая роль.

Как видите, уяснить математические свойства функции $\sum_i p_i \log p_i$, в общем-то, не так уж и сложно. Гораздо труднее, как уже говорилось, уяснить ее общенаучный смысл. Споры об этом, разгоревшиеся во времена Больцмана, еще с бóльшим накалом продолжаются в наши дни. Тому причиной новое применение функции в теории информации.

Вот пример «энтропийного» текста, то есть текста, в котором появление любой буквы имеет равную вероятность ($p_A = p_B = \dots = p_N$). Он выглядит так: СУХЕРРОБЬ ДЩ ЯЫХВЩИЮАЙЖТЛФВНЗАГФОЕНВШТЦР ПХГ БКУЧТЖЮРЯПЧЬКЙХРЫС. Полная абракадабра! Ничего удивительного. Этот текст обладает максимальной энтропией, а энтропия, как мы уже уловили, есть выражение хаоса, будь то хаос беспорядочно сталкивающихся друг с другом молекул, или хаос звуков, воспринимаемых в виде шума, или хаос бессмысленно чередующихся букв.

**НЕСПРАВЕДЛИВОСТЬ. ОТ БОЛЬЦМАНА
ДО ШЕННОНА. БАНДВАГОН ОТ НАУКИ.
ДВИЖЕНИЕ БЕЗ ТРЕНИЯ И ИНФОРМА-
ЦИЯ БЕЗ СМЫСЛА. ДЖИНН ПОКИДАЕТ
БУТЫЛКУ. ЗАПРЕТИТЕ РАДИОСВЯЗЬ!**

Современный ученый произносит имя Больцмана с глубоким почтением. Работы Больцмана послужили фундаментом современной статистической физики. На них опирался Клод Шеннон, предложивший использовать для измерения информации введенную в науку Больцманом функцию $\sum_i p_i \log p_i$. В этой связи Шеннон вспоминает о

* Создавая вероятностную теорию энтропии, Больцман рассматривал не только реальное пространство, но и условное «пространство скоростей». Он показал, что скорости молекул (так же как и сами молекулы) стремятся равномерно «заполнить» предоставленное им пространство». Когда газ достигает состояния равновесия, распределение вероятностей скоростей подчиняется нормальному закону, описываемому формулой и кривой Максвелла.

Больцмане в своих первых работах по теории информации, которые (редчайший случай в науке!) стали классическими, едва успев выйти в свет.

Но при жизни Больцмана все складывалось совершенно иначе. Опубликование работ Больцмана, сыгравших такую огромную роль в последующем развитии науки, не принесло автору ничего, кроме горького разочарования и чувства глубокой обиды, подогреваемого пренебрежительным отношением и откровенными насмешками. Увлеченные успехами классической физики современники считали разрабатываемую Максвеллом и Больцманом молекулярную теорию «излишней гипотезой», якобы уводящей науку в сторону от решения актуальных задач. «Кинетическая теория, как известно, так же ошибочна, как и различные механические теории тяготения... Но если кто-нибудь обязательно хочет с ней познакомиться, пусть возьмет в руки произведение Больцмана», — в таком вот развязно-пренебрежительном тоне откликнулся на опубликование работы Больцмана один научный журнал.

Подобных откликов появилось в то время немало. Мнение их авторов сводилось к тому, что понятные и доступные непосредственным наблюдениям физические явления незначительно объясняют взаимодействиями никому не ведомых гипотетических молекул. Больцман неоднократно вступал в полемику, отстаивал свои взгляды. Но на всех научных конгрессах и съездах он был одинок. Против его теории выступали Лошмидт и Цермело, Мах и Оствальд, Пуанкаре и Планк.

Можно себе представить, с каким чувством Больцман читал или слушал неодобрительные и иронические отзывы о труде, которому он посвятил лучшие свои творческие годы. И не нам теперь осуждать выдающегося ученого за проявленную им человеческую слабость, за то, что он не нашел в себе мужества пережить несправедливость и в период расцвета творческих сил по собственной воле прервал свою плодотворную жизнь.

Идеи Больцмана были подхвачены, развиты и углублены. Они нашли отражение в трудах американца Дж. Гиббса, поляка М. Смолуховского, русских ученых Н. Н. Пирогова и Т. А. Афанасьевой-Эренфест.

В более поздние годы, во время бурного развития квантовой физики, идеи Больцмана использовали в своих исследованиях такие выдающиеся физики, как Ферми, Дирак, Эйнштейн. Больше того, классическая работа

Планка, положившая начало всей квантовой физике, не могла бы появиться на свет, если бы Планк не пересмотрел своих взглядов на теорию Больцмана и не стал бы горячим сторонником тех его идей, которые он раньше не признавал.

А в середине нашего века была создана теория информации, с ее появлением введенная Больцманом функция пережила как бы второе рождение: с этих пор она начала применяться для исследования не только хаотичных, но и обладающих определенным порядком систем. Для таких систем появление разных элементов (букв, яркостей и т. п.) имеет не одинаковую, а различную вероятность. Именно поэтому вместо напоминающего снежный буран танца светлых и темных пятен мы видим на телеэкранах изображение разных предметов, лиц и событий. Именно поэтому мы находим в газетах, журналах и книгах не беспорядочное чередование букв, а осмысленный текст.

Рождение теории информации заставило еще раз переосмыслить сущность понятия «энтропия».

В 1948 году в реферативном журнале американской телефонной компании «Белл систем» появилась статья 32-летнего инженера-связиста Клода Шеннона «Математическая теория связи».

Она начиналась так: «Современное развитие различных методов модуляции... повысило интерес к общей теории связи. Некоторые основные положения этой теории имеются в важных работах Найквиста и Хартли. В настоящей статье мы расширим теорию с тем, чтобы включить некоторое число новых факторов, в частности, влияние шума в канале».

Скромная постановка сугубо технической, прикладной задачи. Скромные ссылки на работы предшественников — Хартли и Найквиста, появившиеся в том же журнале около 20 лет назад. Как же случилось, что спустя несколько лет эта статья была единодушно признана одним из самых значительных фундаментальных научных трудов нашей эпохи? Что нового внесла она в теорию по сравнению с тем, что сделали Найквист и Хартли?

Главным принципиально новым явилась введенная Шенноном мера количества информации. Измерять информацию предлагал до Шеннона Хартли. Однако его мера имела весьма частный характер по сравнению с шенноновской, основанной на методе измерения инфор-

мации с помощью выведенной за 70 лет до Шеннона Больцманом статистической формулы энтропии.

Вот эта связь между количеством информации и энтропией и послужила сначала причиной горячих дискуссий, а затем — ключом к решению ряда научных проблем.

Впрочем, спор разгорелся не сразу, и проблемы решались не за один месяц и не за один год.

В предисловии к русскому переводу сборника статей К. Шеннона под названием «Работы по теории информации и кибернетике» известный советский математик академик А. Н. Колмогоров писал: «...Мне вспоминается, что еще на международном съезде математиков в Амстердаме (1954 г.) мои американские коллеги, специалисты по теории вероятностей, считали мой интерес к работам Шеннона несколько преувеличенным, так как это более техника, чем математика».

Но прошло еще несколько лет, и формула Больцмана—Шеннона стала мелькать не только в технических и математических журналах, но и в трудах биологов, психологов, лингвистов, физиков, искусствоведов, геологов, философов... В общем, повторяюсь, сейчас трудно назвать область человеческих знаний, в которой замечательную формулу не пытались бы так или иначе применить.

Казалось бы, популярность новой теории должна была принести ее создателю удовлетворение и радость. На самом же деле все обстояло совсем не так. «Теория информации, как модный опьяняющий напиток, кружит голову всем вокруг... За последние несколько лет теория информации превратилась в своего рода бандвагон от науки», — писал Шеннон в своей статье «Бандвагон». Бандвагоном в Америке называют специальный автобус с джазом, на котором победитель очередных выборов совершает перед избирателями своего рода парад-алле.

Шеннон не нуждается в бандвагоне, его не привлекает быстрое признание и легкий успех. Как человек науки Шеннон предпочитает политическим акциям и кампаниям поиски изящных инженерных решений, громким овациям — тишину лаборатории, признанию публики — уединенный творческий кабинет. Чрезмерно широкий и часто слишком поверхностный интерес к новой теории со временем стал его раздражать. Он написал статью о бандвагоне и оказался в роли героя «Тысяча и одной ночи»: откупорил бутылку и остановился поодаль, наблюдая, как из нее стал вырастать огромный джинн.

Прямо-таки парадоксально выглядит несходство этой истории с тем, что пережил в свое время Больцман. Больцман страдал от того, что предложенное им толкование энтропии не нашло поддержки среди современников. А Шеннон, напротив, был крайне обеспокоен чересчур живым откликом, тем, что новые взгляды на энтропию сразу же вышли за пределы узкого круга специалистов по технике связи и были подхвачены представителями совсем неожиданных для самого Шеннона научных областей. И все же нельзя не разделить некоторых опасений Шеннона, связанных с тем, что на теорию информации возник, как выразился Шеннон, «очень большой, даже, может быть, слишком большой спрос».

Действительно, специфика задач теории и техники связи требует весьма строгого подхода к использованию как математического аппарата теории информации, так и выдвинутых новой теорией общих идей. Однако нельзя, к сожалению, утверждать, что при переносе этих идей в такие области, как биология, психология, семиотика, искусствоведение, всегда соблюдается та же научная строгость. Здесь понятия теории информации часто внедряются на основе весьма поверхностных аналогий в качестве «модных» терминов, без глубокого проникновения в их суть. И тут можно полностью согласиться с Шенноном: если не пресечь этой тенденции в корне, теория информации и близкие к ней области могут легко превратиться в теории для болтунов. Подобного рода опасения и побудили основоположника теории информации обратиться к своим коллегам с призывом «поддерживать образцовый порядок в своем собственном доме», «обратить внимание на то, чтобы исследовательская работа велась на самом высоком научном уровне», «больше исследовать и меньше демонстрировать свои достижения, повысить требования к себе».

Обобщая эти высказывания, академик А. Н. Колмогоров приходит к заключению, что в целом статья «Бандвагон» демонстрирует типичный для Шеннона «скромный и деловой подход».

«Модный напиток» не вскружил голову Клоду Шеннону. Ему раньше всех было дано понять, что теория его не универсальна, что предложенные им для измерения количества информации новая мера и новые единицы измерения (биты) не учитывают таких важных свойств информации, как ее ценность и смысл.

Шеннон предложил измерять информацию по степени ее неожиданности.

Отправив жену в родильный дом, гражданин Б. может с равной вероятностью ожидать рождения дочери или сына. Сообщение о рождении сына или дочери дает ему информацию, количество которой составляет 1 бит (о способах вычисления количества информации мы поговорим подробнее в следующей главе).

В очередном турнире на первенство мира по шахматам первую партию белыми могут начать с равной вероятностью оба претендента. После жеребьевки стало известно, кто из соперников начнет турнир белыми. Сообщение об этом даст получателю информацию в количестве 1 бита.

Теперь представим себе, что один и тот же гражданин Б. ожидает рождения ребенка и следит за ходом шахматного турнира. Вполне очевидно, что сообщения «У вас родился сын» и «Карпов начнет первую партию белыми» имеют для него совершенно различную ценность. А теория информации оценивает их одинаково.

Есть ли смысл измерять информацию без учета содержащегося в ней смысла? Оказывается, в этом отказе от конкретного содержания ради сопоставимости количества информации разнообразных сообщений и заключается самый глубокий теоретический смысл.

Существует ли на земле механическое движение без трения? Не существует. Об этом прекрасно знали и современники Галилея, и, конечно же, сам Галилей. И тем не менее Галилей задал себе вопрос: что было бы, если бы не было трения?

Ответ получился парадоксальным: тогда телеги могли бы ездить без лошадей! Так был открыт закон инерции, ставший затем фундаментом законов механики, управляющих движением всех земных и небесных физических тел.

Таков один из главных методологических принципов науки: чтобы выявить какие-то общие закономерности, надо абстрагироваться от некоторых конкретных свойств реальных объектов. Именно так и поступил с содержащимся в сообщениях смыслом основоположник теории информации Клод Шеннон. Предложенные им для измерения количества информации единицы (биты) пригодны для оценки любых сообщений, будь то известие о рождении сына, звуки симфонии или телевизионный спектакль.

Точно так же с помощью одних и тех же чисел можно определять количество овец, деревьев, шагов, дней, вес, скорость, плотность, вязкость, прочность, освещенность, напряжение, притяжение, силу тока и все прочее, о чем написано великое множество всевозможных справочников и книг.

А ведь на земле и по сей день есть племена, у которых число «пять» звучит по-разному в выражениях «пять быков» и «пять пальцев». Не сумев абстрагировать понятие «число» от конкретных объектов счета, эти племена ни на один шаг не продвинулись в области создания и освоения точных наук.

Галилей абстрагировался от неотделимого от движения трения, чтобы сформулировать законы механики. Клод Шеннон абстрагировался от смысла передаваемой информации, чтобы научиться ее (информацию) измерять.

Опираясь на созданную Шенноном теорию, многие ученые пытались найти такие меры количества информации, которые учитывали бы ее ценность и смысл. Для многих конкретных исследований такие оценки безусловно нужны и полезны. Просто необходимы. Однако ни одна из вновь предложенных мер информации не смогла стать такой же универсальной, как мера Шеннона. И это естественно: для разных процессов различными будут критерии ценности или смысла, не говоря уже о том, что эти критерии зависят и от того, кто ими желает воспользоваться. Короче: измерения смысла и ценности информации всегда субъективны, в то время как мера, предложенная Шенноном, позволяет исследовать информационные процессы, исключив из них всякий субъективизм.

Оценка информации по смыслу — это один из способов ее сортировки (селекции), в принципе не отличающейся от сортировки сигналов по их физическому носителю, диапазону частот и т. п. Запах, несущий огромное количество информации тигру или собаке, неуловим для человека. Ухо человека не воспринимает ультразвуковые сигналы, которыми обмениваются дельфины, а то, что слышит человек, безразлично дельфину.

Все эти частные различия игнорируются мерой, предложенной Шенноном, и потому она в равной мере пригодна для исследования всех видов информационных процессов независимо от «вкусов» потребителей информации, а ими могут быть и человек, и живая клетка, и тигр, и дельфин, и ЭВМ, и еще множество других систем.

Отказавшись (абстрагировавшись) от смысла и ценности сообщений, Шеннон исключил тем самым и навязчивые мнения всевозможных субъектов и сосредоточил внимание на объективных свойствах информации, описываемых математическим (вероятностным) языком. На первый план выступили некие общие свойства информации, не зависящие от субъективных оценок. Благодаря этому и случилось неожиданное даже для самого Клода Шеннона великое чудо: наука приобрела инструмент для исследований информационно-энтропийных соотношений, справедливых для всех форм информации, существующих в мире, будь то информация книг, радио, телевидения, газет и журналов или информация, циркулирующая по нервным тканям и по цепям электронных машин.

«Джинн информации» день ото дня продолжает увеличиваться в размерах и теперь стал уже огромным, как целый мир. К счастью, джинн этот в отличие от многих своих прототипов из «Тысячи и одной ночи» по натуре очень миролюбив. Его могущество может приносить людям только добро. И все-таки Шеннон рекомендует не слишком уж уповать на его всемогущество, поскольку «здание нашего несколько искусственно созданного благополучия слишком легко может рухнуть, как только окажется, что при помощи нескольких магических слов, таких, как информация, энтропия, избыточность, нельзя решать всех нерешенных проблем».

По поводу всех «нерешенных проблем» спорить, конечно, бессмысленно: было бы странно и удивительно, если бы все проблемы вдруг разрешились с помощью трех магических слов. Но среди наболевших проблем науки есть немало таких, к которым теория информации открывает новый подход. И дело тут не в магической силе слов «информация», «энтропия», «избыточность», а в глубине и емкости тех понятий, которые выражают эти слова.

Свое скептическое отношение к применению идей теории информации и связанных с ней новых взглядов на энтропию в различных областях современной науки Шеннон выразил следующими словами: «Очень редко удается открыть сразу несколько тайн природы одним и тем же ключом». При всем нашем глубоком уважении к Клоду Шеннону и восхищении глубиной созданной им теории придется взять на себя смелость еще раз ему возразить. Разве такой «ключ», как закон сохранения энергии, не

помог открыть множество тайн природы, начиная от непосредственно наблюдаемых физических и химических процессов и вплоть до самых интимных подробностей незримой жизни микрочастиц? Разве законы механики не помогали одновременно и конструировать тончайшие механизмы, и предсказывать движение планет и небесных светил?

Теория информации — это не менее значительный шаг в развитии научной мысли. Происходившая около 100 лет назад первая техническая революция побудила науку установить единую сущность различных видов энергии. Вторая техническая революция поставила на повестку дня вопрос об углублении представлений о сущности, единстве и противоположности понятий информации и энтропии.

Нельзя утверждать, что в этих вопросах уже установлена полная ясность. К общим взглядам и единому мнению ученые пока не пришли. По-разному толкуются и сущность понятия «информация», и его субъективный и объективный аспекты, и связь информации с энтропией.

В книге «Самодвижение материи в свете кибернетики» советский исследователь Л. А. Петрушенко высказался по этому поводу так: «Информация — это известное явление, которое стало совершенно непонятным после возникновения кибернетики».

Это не лишенное определенной доли иронии замечание подтверждается сложившимся положением дел.

По словам Петрушенко, «теория информации в кибернетике напоминает болото, поверх которого заботливыми руками математиков и техников настланы достаточно твердые доски. Ниже, Шенноном и Винером насыпан плотный слой теорий и постулатов. Еще ниже находится мох догадок. И, наконец, там, совсем глубоко, — трясина гипотез, где все абсолютно шатко и сверкает ледяная вода таких широких обобщений и глубоких абстракций, которые еще не известны современной науке».

В представленной Петрушенко образной картине современного состояния теории информации ничего противоземного, в общем-то, нет. Еще Маркс говорил о том, что наука в отличие от обычного архитектора может сначала создать крышу (или «положить твердые доски» на поверхность «зыбкого болота») и лишь потом подвести под нее стены и фундамент.

В таком парадоксальном положении находится, по мнению Петрушенко, и современная теория информации: «Крыша, висящая в воздухе, без фундамента и без стен». «В настоящее время,— говорит он,— сконструированы и успешно работают многочисленные технические устройства, основанные на передаче и преобразовании информации и потому называемые информационными. Имеется прекрасно разработанный математический аппарат для нужд теории информации. Самой теории информации, по выражению одного из ведущих специалистов в этой области, очень повезло: редко случается, чтобы какая-нибудь теория уже в начальный период своего развития имела столь полный и законченный вид, как теория информации! А между тем, если вы заинтересуетесь вопросом, что такое информация, и найдете соответствующее определение информации в какой-либо из книг (что, вообще говоря, трудно сделать, так как авторы их избегают давать такое определение), то можно с большей уверенностью утверждать, что другие авторы будут с ним не согласны».

Так как же быть? Ждать пока наука выработает общепризнанный взгляд на информацию или использовать уже сложившийся аппарат новой теории для решения научных проблем? Такого вопроса, в сущности, не возникало. Теория информации сразу стала внедряться, по мере возникновения и решения все новых и новых информационных проблем становиться все шире и глубже. «Может показаться даже,— замечает Петрушенко,— что чем более развитыми и сложными становятся информационные устройства, чем глубже они вторгаются в различные области человеческой деятельности, тем более трудно становится ответить на вопрос, что же такое информация...»

К этому надо добавить, что трудности нового осознания информации заключаются не столько в создании новых информационных устройств, сколько в обнаружении все новых информационных процессов, протекающих без вмешательства человека.

Ту «понятную» для всех информацию, о которой говорит Петрушенко, мы привыкли черпать на страницах книг, газет или журналов, в теле- и радиопередачах, в разговорах и переписке друг с другом. «Непонятная информация» хранится в структуре элементарных частиц, атомов, молекул, кристаллов, клеток. Можно из-

влечь ее, исследуя структуру тех или иных объектов. Но самое удивительное заключается в том, что информация эта зарождается и существует независимо от человека что молекулы или кристаллы, не дожидаясь вмешательства человека, могут обмениваться информацией между собой!

Вот тут начинается «непонятное». Что общего между информацией, которую можно извлечь, изучая структуру кристалла, и информацией, черпаемой нами из ежедневных газет? Существуют ли некие общие законы, заставляющие мир непрерывно копить информацию, вначале в молекулах и кристаллах, потом в клетках и организмах и, наконец, в мозге, в книгах и в памяти ЭВМ?

Вот вопросы, во весь рост вставшие перед современной наукой и породившие «трясину гипотез» и «ледяную воду широких обобщений и глубоких абстракций» под тем новым зданием, которое кибернетика и теория информации начали воздвигать «с крыши и с потолка». Эти вопросы выдвинуты теорией информации, показавшей, что всякую информацию (и «понятную», то есть ту, что в газетах и книгах, и «непонятную» — ту, которой обмениваются молекулы и кристаллы) можно измерять с помощью одинаковых единиц.

Теория информации в том виде, в каком она существует сегодня, — это лишь первый шаг к решению многих научных задач. С ее помощью пока не открыты законы такого масштаба, как, например, закон всемирного тяготения. Но тут приходится делать скидку на возраст — нельзя же требовать от ребенка, пусть даже и одаренного, великих свершений с самых первых шагов. Тем не менее теория информации с первых шагов предложила новый, весьма плодотворный подход к сложнейшим проблемам — таким, как жизнь, мышление, передача наследственных признаков, процессы развития и т. д. И он дал первые результаты, которые, по-видимому, со временем послужат основой общей теории развития информационных систем*.

В общем, хотим ли мы того или нет, но приходится констатировать, что могучий «джинн информации» уже вылез на белый свет из откупоренной Шенноном бутылки

* Этим научным проблемам посвящена, в частности, написанная автором книга: «Эволюция и информация». М., Наука, 1976.

и никакими заклинаниями или магическими словами загнать его обратно в бутылку уже нельзя.

Надо заметить, что такие истории в науке происходят не впервые. Нечто подобное случилось в конце прошлого века. Ученого, который так же как Шеннон, откупорил бутылку, не оценив могущества освобожденного им джинна, звали Генрихом Герцем. Джинн, которого он выпустил из бутылки,— это электромагнитное излучение. Существование радиоволн теоретически было предсказано Джеймсом Клерком Максвеллом. Экспериментально их получил впервые Герц. Сообщение об открытии «волн Герца» многими учеными было встречено как первый шаг к созданию беспроволочной связи. И никто, пожалуй, не относился к этой идее более скептически, чем сам Герц.

В ответ на одно из предложений начать работать над идеей радиосвязи Герц написал: «Электрические колебания в трансформаторах и телефонах слишком медленные... Если бы вы были в состоянии построить выгнутые зеркала размером с материк, то вы могли бы поставить намечаемые опыты, но практически сделать ничего нельзя: с обычными зеркалами вы не обнаружите ни малейшего действия. По крайней мере, так думаю я».

Удивительное сочетание точности научного мышления и отсутствия перспективности мысли! Да, зеркала антенн действительно должны быть соизмеримы с длиной излучаемых ими волн. Однако вместо того, чтобы проектировать антенны, сравнимые по величине с материками, Герцу следовало бы вспомнить восточную мудрость о Магомете и горе. Нельзя создавать зеркала величиной с материк или хотя бы с гору. Но если гора не идет к Магомету... Техника радиосвязи пошла по пути укорочения волн. Телефон обходится частотами в тысячи герц. Развитие радиосвязи потребовало повышения частот до сотен тысяч и миллионов герц.

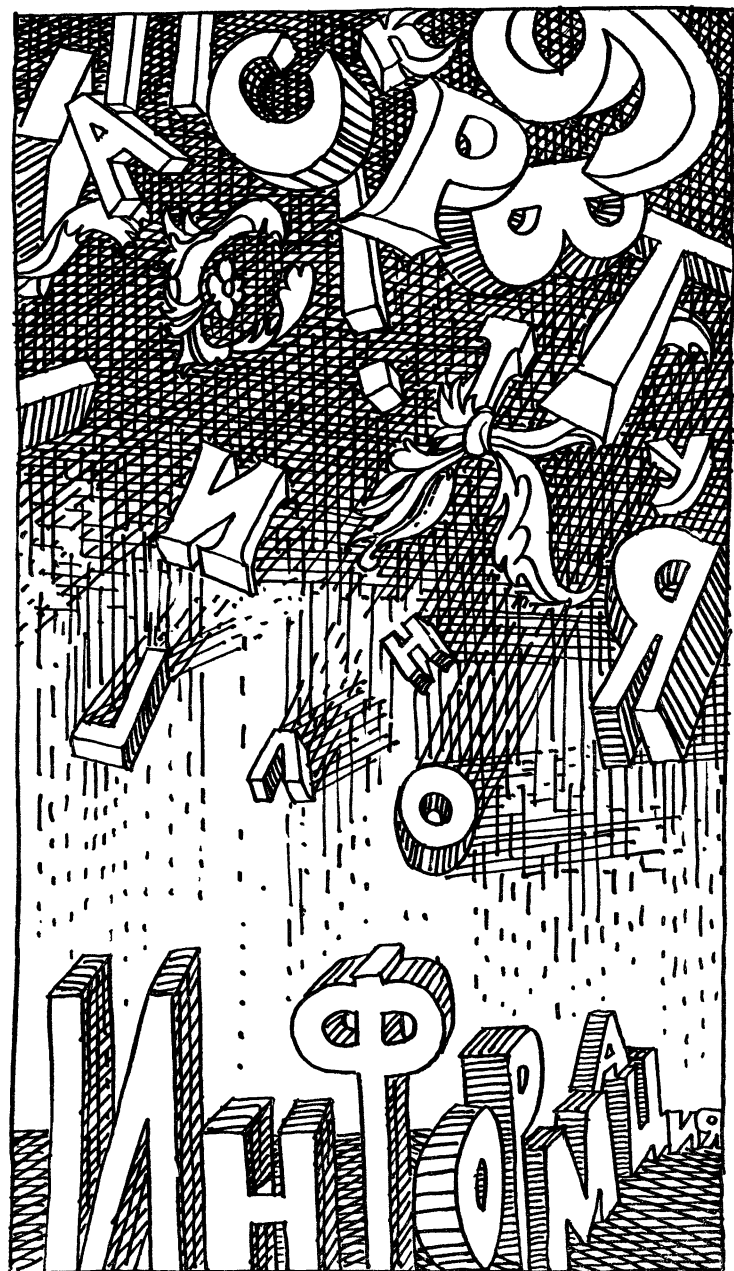
Герцы, тысячи герц, миллионы и миллиарды герц... Имя Герца звучит сейчас на всех диапазонах частот. Тем самым мы отдаем вечную дань знаменитому опыту Герца. И стараемся перечеркнуть его печальные заблуждения, забыть о том, что он в свое время предлагал Дрезденской палате коммерции запретить как не имеющие практической ценности все последующие исследования радиоволн.

Представьте себе, что было бы, если бы Дрезденская

палата откликнулась на предложение Герца и попыталась его выполнить? Ведь это было бы равносильно попытке запретить существующую ныне радиосвязь.

Нет, информацию не удержишь даже в волшебной бутылке! Мир так нуждается в информации, что стоит лишь приоткрыть небольшое отверстие, до поры до времени утаенное от нас природой, как тут же через него наружу вырывается неуправляемый фонтан. Джинн, освобожденный Герцем, разнес информацию по всему белу свету на радиоволнах. Джинн, освобожденный Шенноном, позволил измерить количество информации и обнаружить при этом, что информация существует не только в радиоволнах и книгах, но и в структуре всех созданных природой и человеком организованных систем.

В чем же секрет «вездесущности» созданной Шенноном новой теории? Чтобы понять этот секрет, придется опять обратиться к замечательной функции энтропии



КАК ВЫГЛЯДИТ ЭНТРОПИЯ? ЭКСПЕРИМЕНТЫ С БУКВАМИ. СТРАННЫЕ ФРАЗЫ. ИНФОРМАЦИЯ И ПОРЯДОК. У ПТЕНЦОВ НЕТ ПЛАВНИКОВ. ТЕКСТ ИЗ ОДНИХ «А»

Итак, целых 100 лет энтропию считали фатумом, роком, причиной будущей неминуемой гибели всей Вселенной. А она, «оклеветанная молвой», совершала свою, тогда еще никому не заметную созидательную работу, обновляющую и омолаживающую весь мир. Невидимой была эта работа, невидимой оставалась и сама энтропия: исследования Больцмана позволили лишь представить ее в виде хаоса огромного множества движущихся микрочастиц.

Зримый образ энтропия приобрела благодаря работам Шеннона. Чтобы ее увидеть, нужно дождаться окончания вечерней телепрограммы и внимательно всмотреться в телевизионный экран. Вы увидите там хаотичную пляску черных и белых точек, похожую на ту пляску молекул, которую более ста лет назад впервые вообразил и описал языком теории вероятностей Джеймс Клерк Максвелл.

Что же общего между телеэкраном и газом? В обоих случаях функция $\sum_i p_i \log p_i$ достигла своей максимальной

величины. Потому что и в том и в другом случае все вероятности p_i одинаковы: для молекул газа равны вероятности всех скоростей и направлений движения; для телеэкрана в каждый момент равны вероятности всех степеней яркости бегущего по экрану луча. Для газа равенство всех вероятностей обусловлено термодинамическим равновесием. На телеэкране сходная ситуация возникает в тех случаях, когда яркостью луча управляет не упорядоченная информация, передаваемая с телестудии или со сцены концертного зала, а проникающие в телеканал из эфира хаотичные (то есть опять-таки энтропийные) шумы.

Клод Шеннон показал, что энтропию можно не только увидеть, но и создать искусственно, пользуясь алфавитом и определенными правилами составления текста, так же как создаются вкусные блюда или хитроумные ручные поделки по рекомендациям поваренной книги или раздела журнала под рубрикой «Сделай сам».

«Возьмите свежей баранины,— рекомендует автор по-

варенной книги,— пропустите дважды сквозь мясорубку, посолите...»

В том же стиле можно теперь описать способ приготовления энтропии.

Возьмите 32 пустые карточки и напишите на них все буквы русского алфавита. Положите все карточки в коробку, тщательно перемешайте. Извлеките наугад одну букву. Извлекли? Прекрасно! Запишите, какую именно. Записали? Очень хорошо. Теперь бросьте карточку с буквой в коробку и перемешайте карточки еще раз. Тщательнее перемешивайте! Еще раз! Еще! Теперь достаточно. Можете извлечь следующую букву и записать ее рядом с предыдущей.

Проделав подобную процедуру раз 30—40, вы получите набор букв и слов*. Математик Р. Л. Добрушин в результате такого эксперимента получил текст, который вы уже видели на 25-й странице. Возвращаясь к нему теперь, спросим себя: стоило ли ради такой бессмыслицы делать специальный эксперимент? Оказывается, стоило. Ведь полученный Добрушиным текст — это не просто бессмыслица, а самая бессмысленная бессмыслица, какую только можно вообразить. Чередование букв наиболее беспорядочно, хаотично. Энтропия текста обладает наибольшей из всех возможных текстов величиной.

Все это вытекает из описанной методики эксперимента. В самом деле, вероятность извлечения любой из букв одинакова, то есть выполняется уже знакомое нам условие:

$$p_A = p_B = \dots = p_Y = 1/32.$$

Чтобы это условие не нарушилось, мы настоятельно рекомендовали после извлечения карточки возвращать ее к коробку и тщательно снова все перемешивать.

Заметим, что вероятность извлечения пустой карточки, соответствующей интервалу между словами, также равна $1/32$. Поэтому-то такими несуразно длинными получились слова нашего странного текста: каждое слово, формируемое описанным способом, состоит в среднем из 32 букв, то есть на каждые 32 наугад извлеченные буквы попадетя в среднем один интервал.

* Одна из 32 карточек должна быть пустой. При извлечении этой карточки в тексте оставляется пропуск, соответствующий интервалу между словами.

В реальных текстах средняя длина слова составляет примерно 6 букв. Это значит, что в реальных текстах интервал встречается примерно в 5 раз чаще, чем в нашем эксперименте. Значит, его вероятность для реального текста составляет не $1/32$, а $5/32 \approx 1/6 \approx 0,17$.

Так же обстоит дело и с остальными буквами: вероятность их появления в реальных текстах значительно отличается от $1/32$.

Для определения реальных значений вероятностей появления букв в письменных текстах фиксировали частоту появления каждой буквы на протяжении сотен и тысяч страниц.

В результате такого учета было установлено, что чаще всего в русских текстах появляется буква «О» ($p_O = 0,09$), а реже всего буква «Ф» ($p_F = 0,002$) *. Чаше, чем буква «О» и другие буквы, появляются в русских текстах интервалы между словами. Их вероятность составляет $p_{\text{интервала}} = 0,17$.

Благодаря тому, что вероятности появления различных букв в реальных текстах неодинаковы, их энтропия (беспорядочность) меньше, чем в экспериментальном, искусственном тексте. Реальные тексты отличаются от энтропийного определенным порядком чередования букв.

Чтобы уяснить, как возникает порядок, попытаемся составить текст, в котором соблюдались бы реальные вероятности появления букв. Для этого нам придется вновь поместить карточки с буквами в общую коробку, но теперь понадобится не 32 карточки, а значительно больше, потому что число карточек должно быть пропорционально вероятностям появления букв (например, на две карточки с буквой «Ф», имеющей вероятность $p_F = 0,002$, должно приходиться 90 карточек с буквой «О», имеющей вероятность $p_O = 0,09$ и т. д.).

Впрочем, можно не тратить времени на приготовление множества карточек с буквами. Тот же эксперимент можно проделать без карточек, используя обычный печатный текст. Ведь в тексте каждая буква будет встречаться именно с той частотой, которая соответствует ее вероятности.

Если, закрыв глаза, наугад переворачивать страницы и указывать на букву, а затем приписывать ее к ряду

* Сравните с вероятностью появления тех же букв в описанном эксперименте: $p_O = p_F = 1/32 = 0,03$.

ранее таким же образом отобранных букв, то вы получите новый искусственный текст, в котором частота появления букв будет соответствовать вероятности их появления в русском тексте. Действуя таким образом, Р. Л. Добрушин получил фразу, помещенную в нижеприведенной таблице под номером 2.

Номер фразы	Фраза	Условие получения фразы
1	СУХЕРРОБДЩ ЯЫХВЩИ- ЮАЙЖТЛФВНЗАГФО- ЕНВШТЦР ПХГБКУЧТЖЮ- РЯПЧЬИХРЫС	Принято условие равной вероятности всех букв алфавита и интервала между словами
2	ЕЫНТ ЦИЯБА ОЕРВ ОДНГ БУЕМЛОЛЙКЗБЯ ЕВНТША	Учтены вероятности отдельных букв в русском тексте
3	ВЕСЕЛ ВРАТЬСЯ НЕ СУ- ХОМ И НЕПО И КОРКО	Учтены вероятности 4-буквенных сочетаний в русском тексте
4	ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ ПОЗВОЛЯЕТ ИЗУЧИТЬ ЭТО СВОЙСТВО РЕАЛЬНЫХ...	Соблюдены реальные вероятности сочетания всех букв

Мы намеренно расположили фразу № 2 рядом с ранее полученной искусственной фразой № 1, чтобы читатель мог наглядно убедиться, насколько возрос порядок в тексте после того, как мы учли реальные вероятности появления букв.

В чем проявляется порядок? Во-первых, исчезли из текста слова несуразно длинные. Это произошло потому, что мы учли реальную вероятность появления интервала между словами ($p_{\text{интервала}} = 0,17$).

Во-вторых, в отличие от фразы № 1, где друг за другом следовали 5 или 6 согласных букв (ЖТЛФВНЗ и т. п.), во фразе № 2 гласные и согласные буквы чередуются более или менее равномерно, потому что учтены реальные вероятности появления и тех и других. Благодаря этому слова фразы № 2 стали более или менее «удобочитаемы», в отличие от фразы № 1, где сколько бы вы ни старались, вам не удастся произнести вслух такие сочетания букв, как БЬДЩ или ЖТЛФВНЗ.

Впрочем, и во фразе № 2 порядок не столь велик, чтобы всю эту фразу можно было «озвучить». Ну как, например, произнести стоящий в начале слова БУЕМЛОЛЙКЗБЯ мягкий знак?

По всей видимости, в нашей упорядоченной фразе № 2 еще не учтены все правила, по которым строятся реальные тексты. Чтобы сделать еще один шаг, приближающий наши искусственные фразы к фразам реальных текстов, давайте несколько усложним эксперимент. Будем учитывать вероятности не только отдельных букв, но и их сочетаний. Для этого снова раскроем наугад какую-нибудь книгу и из случайно выбранного слова выпишем четыре буквы, идущие одна за другой, например ВЕСЕ. Теперь будем скользить глазами по строчкам текста до тех пор, пока не встретим в тексте сочетание ЕСЕ (три последние буквы нашей записи ВЕСЕ). Выпишем ту букву, которая следует за сочетанием ЕСЕ (если, к примеру, встретившееся нам сочетание ЕСЕ принадлежит слову «ПЕРЕСЕЛЕНИЕ», то выпишем следующую за сочетанием ЕСЕ букву Л). Теперь записанное нами сочетание букв превратилось в ВЕСЕЛ. Снова запоминаем три последние буквы СЕЛ и ищем такое же сочетание в реальном тексте. Допустим, что такое сочетание встретилось нам в словах «присел на скамейку». В этом тексте следом за сочетанием СЕЛ следует интервал. Значит и в «конструируемом» нами тексте интервал должен следовать за сочетанием ВЕСЕЛ.

Все описанные манипуляции были проделаны с английскими текстами Шенноном и с русскими текстами Добрушиным. В результате Добрушин получил «странную фразу», помещенную в нашей таблице под № 3.

Подобную фразу может сочинить электронная машина если, подбирая сочетания букв по заданной программе она будет учитывать хранящиеся в ее памяти вероятности различных 4-буквенных сочетаний, встречающихся в текстах различных книг. Эта «машинная речь», хотя и далека от человеческой речи, все же по некоторым формальным признакам очень напоминает обычный, осмысленный текст. По этим признакам можно даже найти во фразе № 3 составное сказуемое (ВЕСЕЛ ВРАТЬСЯ), дополнения (НЕ СУХОМ, НЕПО, КОРКО) и т. п.

Заметим, кстати, что описанная процедура составления фраз очень напоминает один из приемов каббалы. Многие прорицатели, используя случайный набор слогов из священных (или из «черных», то бишь дьявольских) книг, пытались разгадывать и истолковывать таинственный смысл полученных слов и фраз. Считалось, что таким образом они вступают в общение с духом, подсказавшим

эти фразы или слова. Мы с вами не станем уподобляться прорицателям и не будем гадать, какой каббалистический смысл вкладывал дух во фразу ВЕСЕЛ ВРАТЬСЯ НЕ СУХОМ И НЕПО И КОРКО. В ней нет, разумеется, никакого тайного смысла, а есть лишь смысл вполне очевидный: ее вероятностная структура приближается к вероятностной структуре обычных осмысленных фраз

Все полученные Добрушиным искусственные фразы сведены нами в таблицу. К ним добавлена еще одна фраза, которой мы присвоили № 4. Она выписана наугад прямо из текста и, следовательно, соответствует всем грамматическим и фонетическим правилам русского языка. Теперь окинем взглядом снизу вверх всю таблицу: перед нами картина распада и деградации: буквы, которые в нижней фразе соблюдали осмысленный строгий порядок, постепенно «сбиваясь с толку», в конце концов настолько между собой перемешались, что превратились в полную абракадабру (фраза № 1).

Преобразование фразы № 4 сначала во фразы № 3 и № 2, а затем во фразу № 1 — это модель перехода всякой упорядоченной системы в состояние термодинамического равновесия, то есть такого хаоса, при котором энтропия становится максимальной, а вероятности выравниваются, приближаясь к условию

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = 1/N$$

Теперь попробуем на те же фразы посмотреть в обратном порядке, перемещая взгляд сверху вниз, от фразы № 1 к фразе № 4. Перед нами предстанет модель всех накапливающих порядок антиэнтропийных процессов. Элементы системы (в рассматриваемом случае система — это текст, а элементы системы — отдельные буквы) сначала следуют друг за другом в любых сочетаниях, не соблюдая правил, не «обращая внимания» на то, какие элементы появились до них (фраза № 1). Первый проблеск порядка появился после того, как частоты появления элементов системы стали соответствовать вероятностям появления тех же элементов в структуре реальных упорядоченных систем (фраза № 2). Порядок в системе существенно увеличился после того, как стали учитываться вероятности сочетаний ее элементов, определяемые правилами образования слогов в тексте (фраза № 3).

«Полный порядок» образовался с того момента, как стали учитываться все правила русского языка (фраза № 4).

С каждым шагом от хаоса к упорядоченности все меньше и меньше становится энтропия системы, потому что все больше и больше отличаются друг от друга различные вероятности p_i , входящие в формулу энтропии:

$$H = - \sum_i p_i \log p_i.$$

Стало быть, окинув взглядом сверху вниз таблицу, мы увидели, как протекает типичный антиэнтропийный процесс.

Подобная «антиэнтропийная метаморфоза» может происходить не только с текстом, но и с системами самой разнообразной природы. Например, можно представить себе, как молекулы жидкости, метавшиеся из стороны в сторону в хаотичном броуновском движении, для которого все скорости и направления в равной степени вероятны, начали вдруг выстраиваться в упорядоченные «колонны» и «шеренги» (потому что вероятности направлений движения стали различными) и постепенно образовали сложный, многогранный кристалл. А можно вообразить, как из сумбура нечленораздельных звуков начали образовываться закономерные сочетания (звуковые сигналы), которые постепенно превратились в осмысленные слова.

Как в этих, так и во многих других процессах, приводящих к увеличению порядка в структуре формирующихся систем, происходит накопление информации, количество которой определяется с помощью той же функции $\sum_i p_i \log p_i$.

Известный физик Леон Бриллюэн показал, что количество накопленной и сохраняемой в структуре систем информации (ΔI) в точности равно уменьшению их энтропии (ΔH).

Посмотрим, как это общее правило (так называемый негэнтропийный принцип информации) проявляется на частном примере рассмотренных нами фраз.

С помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$ подсчитали, что при переходе от фразы № 1 к фразе № 4 энтропия текста уменьшилась примерно в 5 раз. Для фразы № 1 энтропия (неопределенность появления каждой новой буквы) составляет 5 бит. Во фразе № 2 неопределенность появления каждой буквы уменьшается на 1 бит и составляет 4 бита на букву. Энтропия реальных текстов меньше, чем

максимальная энтропия (фраза № 1) на 4 бита. Она составляет около 1 бита на букву*.

Уменьшение энтропии реальных текстов по сравнению с фразой № 1 обусловлено тем, что в структуре реального текста содержится информация всех грамматических и фонетических правил русского языка. Разность между энтропией реального текста $H_p = 1$ бит на букву и максимальной энтропией фразы № 1, $H_{\max} = 5$ бит на букву — это и есть количество информации I_{Π} , содержащейся в грамматических и фонетических правилах, которым подчиняются реальные тексты. Таким образом:

$$I_{\Pi} = H_{\max} - H_p = 4 \text{ бита на букву.}$$

Этого количества информации оказывается достаточно для того, чтобы представленную фразой № 1 абракадабру превратить в осмысленный текст.

Специалисты по телефонной, телеграфной и радиосвязи называют информацию грамматических и фонетических правил избыточной информацией. Почему? Это не так уж сложно понять.

Дело в том, что специалистов, проектирующих систе-

* Все значения энтропии и информации в битах подсчитываются с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$.

Пример I. Энтропия сообщений типа «У А. родилась дочка», «В. играет белыми» равна:

$$H = - \sum_{i=1}^{i=2} p_i \log p_i = - (p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2) = - (1/2 \log^1_2 1/2 + 1/2 \log^1_2 1/2) = 1 \text{ бит}$$

Пример II. Энтропия появления каждой следующей буквы в тексте равна:

$$H = - \sum_{i=A}^{i=Y} p_i \log p_i = p_A \log_A + p_B \log p_B + \dots + p_Y \log p_Y.$$

Пример III. Для фразы № 1 выполняется условие $p_A = p_B = \dots = p_Y = 1/32$.

Подстановка этих значений $p_A, p_B, p_V, \dots, p_Y$ в общее выражение примера II дает энтропию 5 бит.

Пример IV. Чтобы определить энтропию фразы № 2, достаточно подставить в общее выражение примера II реальные значения вероятностей букв в русских текстах ($p_O = 0,09$, $p_\Phi = 0,002$ и др.). В результате такой подстановки получим значение энтропии около 4 бит.

Пример V. Чтобы определить энтропию фраз № 3 и № 4, необходимо учитывать не только вероятности отдельных букв, но и вероятности их сочетаний. Для реальных текстов эта задача становится настолько сложной, что приходится применять приближенные методы расчета, описанные подробно и доступно в книге А. М. Яглома и И. М. Яглома «Вероятность и информация» (глава 4). Приближенное значение энтропии реальных текстов составляет около 1 бита на букву

мы связи, письменные тексты интересуют только с одной точки зрения: как с помощью этих текстов передать по каналу связи при минимальной затрате энергии и в максимально короткий срок наибольшее количество новостей?

Мы только что выяснили, что в структуре реальных текстов содержится информация грамматических и фонетических правил.

Является ли эта информация для получателя новой? Нет, разумеется. Надо думать, что правила грамматики он усвоил еще на школьной скамье. А раз так, решили специалисты по связи, значит, информация эта избыточна и лучше по мере возможности не загружать ею канал. Приняв точку зрения специалистов по теории информации и технике связи, взглянем еще раз на фразы нашей таблицы.

Фраза № 1 и проделанный для нее расчет энтропии показывают, что наибольшая неопределенность появления буквы составляет 5 бит на букву. Расчеты, проделанные для фразы № 4 и других реальных текстов, показали, что неопределенность (непредсказуемость, неожиданность) появления каждой буквы в реальных текстах уменьшается до 1 бита за счет упорядоченности, обусловленной правилами, по которым строится всякий реальный текст.

Другими словами, неожиданность сообщений для знакомого с правилами грамматики и фонетики адресата уменьшается на 80 процентов, так как 80 процентов содержащейся в тексте информации не является для него неожиданной, новой. Так стоит ли загружать такой информацией дорогостоящий телеграфный или телефонный канал?

Специалисты решили: не стоит. И стали искать способы, позволяющие уменьшить этот «избыточный груз».

Например, получив сообщение ТЬС, можно безошибочно предугадать, что дальше последует буква Я. Почти с полной уверенностью можно предсказывать, что вслед за сочетанием КИ появится либо Й, либо М, либо Х, либо Е. А если учесть еще связь между передаваемым словом и предыдущим, то можно сказать уже без всяких сомнений, какая буква последует после сочетания СКИ. Если до этого было слово ЯЩИК, а потом пришло сочетание ГРОМОЗДСКИ, то вполне очевидно, что следом появится Й. А если раньше было получено слово ВЕЩЕЙ, то после СКИ появится Х и т. п.

Исходя из того, что многие буквы передаваемых текстов можно предсказывать до их получения, создатели теории информации задались вполне законным вопросом: может быть, для экономии времени и энергии эти буквы можно совсем не передавать?

Методами теории вероятностей и статистики были исследованы разнообразные сообщения: тексты, телеграфные коды, радио- и телесигналы и т. д. Оказалось, что все они обладают значительной долей избыточной информации, то есть той информации, которую можно предсказывать еще до ее получения или вообще не передавать по каналам связи, сохранив при этом возможность восстановить на приемном конце полный текст.

Но тут мы должны отвлечься от задач техники связи и передачи сообщений, чтобы обратить внимание на одно очень важное обстоятельство: та информация, которая оказывается избыточной для техники связи, вовсе не будет излишней для самого языка.

В самом деле: лишите-ка вы текст той избыточной информации правил ($I_{\text{п}} = 4$ бита на букву), благодаря которой буквы следуют друг за другом в определенном порядке. Что тогда станет с текстом? Вполне очевидно: он тут же рассыплется, перемешает между собой все свои буквы, превратится в абракадабру, подобную фразе № 1.

То же самое произойдет и в любой другой упорядоченной (а стало быть, сохраняющей определенное количество информации) системе: стоит лишить ее этой информации, и она превратится в хаотичную смесь элементов, перестанет существовать как система.

Чтобы еще раз убедиться в том, что одна и та же информация может быть с одной точки зрения избыточной, а с другой точки зрения — крайне необходимой, допустим, что вам пришло такое сообщение: из яйца вылупился птенец, у которого есть крылья и нет плавников. Являются для вас новостью сведения о плавниках и крыльях? Нет, не являются. Для вас это избыточная информация. А для птенца?

Ситуация тут похожа на известный анекдот про сумасшедших: больной после излечения знает, что он не зерно, но знает ли об этом петух, который хочет это зерно склевать?

Так и в нашем примере: мы-то знаем, что петух из яйца должен вылупиться не с плавниками, а с крыльями. Но если лишить петуха (пока существующего в виде

зародыша) этой самой избыточной информации о плавниках и крыльях, откуда петух узнает, что он должен родиться на свет не рыбой, а петухом? Не будь в яйцеклетках «избыточной» информации обо всех важных подробностях структуры зарождающихся в них организмов, на свет рождались бы только уродцы точно такие, как в сказке: «Не мышонок, не лягушка, а неведома зверюшка». Какая-нибудь несуразная, фантастическая и, уж конечно же, нежизнеспособная смесь. Значит, живым организмам «избыточная» информация необходима так же, как языку.

В продуктах питания, которые мы употребляем в пищу, помимо перевариваемых и усваиваемых организмом веществ (белков, углеводов, жиров и др.), есть вещества, которые только способствуют процессу пищеварения.

Так вот, если хотите, величина $H_p = 1$ бит на букву — это и есть та информация текста, которая представляет собой пищу для ума. Соответственно $I_{\Pi} = 4$ бита на букву — это та структурная информация, которая помогает «переваривать» новый текст.

Пусть читатель извинит нас за грубость этой «пищеварительной» аналогии, которая дает весьма наглядное представление о роли, которую играют содержащиеся в каждом тексте величины H_p и I_{Π} .

Их присутствие не обнаруживается с первого взгляда. Для выявления соотношения непредсказуемой и избыточной информации, содержащейся в текстах, понадобились годы упорного и кропотливого труда. И даже он не привел бы ни к каким результатам, если бы теория информации не предложила способов измерений информации, позволивших выразить величины H_p и I_{Π} количеством битов.

Веками копил язык информацию, создающую в чередовании звуков и букв определенный сложный порядок. Именно избыточная информация, накапливаемая в совокупности всех грамматических и фонетических правил, собственно, и сделала язык языком. А замечательная функция $\sum_i p_i \log p_i$ отразила в себе весь процесс упорядочивания, который описывается лаконичным языком математики как процесс постепенного перехода от равенства всех вероятностей к их существенному различию, когда вероятность буквы «О» возрастает до 0,09, а вероятность буквы «Ф» падает до 0,0002.

Ну а если этот процесс продлится и дальше? Во что в конце концов превратится письменный текст?

Если много раз подряд подбрасывать игральную кость и записывать выпавшие очки, получится случайное чередование чисел: 3, 2, 5, 4, 1, 6, 2, 2, 6, 3 и т. д.

Какова вероятность того, что в следующий раз выпадет грань с пятью точками? Догадаться нетрудно. Если все грани строго симметричны, то с равной вероятностью может выпасть любая из 6 граней, то есть $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = p_6 = 1/6$.

А какова вероятность того, что при очередном броске выпадет любая из 6 граней? Каждый легко догадается, что вероятность такого события равна единице. В самом деле, не может же игральная кость встать на ребро!

На языке теории вероятностей это условие запишется вот в каком виде: $p_{1-6} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1$.

Точно таким же образом на языке теории вероятностей можно сказать, что, закрыв глаза и передвигая кончик карандаша вдоль строки какой-нибудь книги, а затем остановив его наугад, вы обязательно попадете на букву (если считать буквой и интервал). Это условие записывается в виде: $p_{A-я} = p_A + p_B + \dots + p_Я + p_{\text{интервал}} = 1$.

Используя математический знак суммирования Σ , все, что было сказано об игральной кости и буквах печатного текста, можно свести к следующей короткой записи: $\sum_i p_i = 1$, где i равно: для игральной кости 1,2,3,4,5,6; для письменных текстов А, Б, ... , Я, интервал.

Зная это условие, можно предсказать, что же в конце концов произойдет с текстом, если будет продолжаться тот процесс его упорядочивания, который можно наблюдать, просматривая сверху вниз все фразы, записанные в нашей таблице. Мы уже знаем, что бессмысленная фраза № 1 может превратиться в некоторое подобие осмысленного текста только в том случае, если разные буквы будут иметь различные вероятности. А только что записанное нами условие позволяет сделать следующий вывод: чем больше становятся вероятности одних букв, тем меньше вероятности останутся на долю других (поскольку сумма всех вероятностей по-прежнему будет равна единице — согласно условию $\sum_i p_i = 1$).

В царстве букв происходит процесс образования своего рода кастовых сословий: преимущества одних букв оплачиваются бесправием других. Возможность выхода в свет

бесправных ограничена малой вероятностью их появлений на страницах газет, журналов и книг. Зато избранные буквы всегда на виду. А если продолжить этот процесс расслоения до его логического завершения, то в конце концов одна какая-то буква (например, «А») должна узурпировать все права (этот процесс будет выражаться условием $p_A = 1$), а вероятности всех остальных букв в силу условия $\sum_i p_i = 1$ станут равны нулю.

Так что же осталось от текста? АААА... Странный текст! А главное, в принципе непонятно: копил, копил язык информацию, развивался, вырабатывал правила, усложняя собственную структуру, а в итоге... выродился в примитивное АААА...

Что можно сообщить таким текстом? Кое-что, оказывается, можно. Представим себе такую ситуацию: мы договорились заранее с отправителем сообщений, что получив направленный к нему груз, он подтвердит его получение условным сигналом «А». Груз направляется периодически (скажем, раз в сутки молочная фабрика доставляет свою продукцию базе), и каждый раз в качестве подтверждения приходит все то же сообщение «А».

Но допустим, что адрес базы переменялся, и надо сообщить об этом на фабрику. Вот тут уж одной буквой не обойдешься, придется вновь вспоминать о том, что, помимо «А», существует еще целый алфавит, и составлять необходимый для сообщения нового адреса текст.

Теперь становится ясно, что же в конце концов получилось из текста: накапливая порядок и информацию, он постепенно выродился в узкоспециализированный текст, который имеет смысл только для заранее обусловленных, строго определенных и неизменных условий. Если что-нибудь в условиях изменилось, текст становится нежизнеспособным: сообщить хотя бы о перемене адреса с его помощью уже нельзя.

Да и в тех случаях, когда адрес не изменяется, текст из одних «А» нужен лишь до тех пор, пока нет стопроцентной уверенности в своевременном прибытии груза. А что если груз неизменно и своевременно приходит по заданному адресу, как, например, регулярно проходят планеты определенные точки своих орбит? В этом случае сообщать вообще ничего не нужно. Регулярный текст «А — пауза — А — пауза — А...» может тянуться до бесконечности, не давая никакой дополнительной информации,

поскольку время и место доставки груза, так же как и орбиты планет, подтвержденные и наблюдением и расчетом, известны еще до получения сообщения «А — пауза — А — пауза — А...». Подобный текст из регулярно повторяющихся одинаковых сообщений не только избыточен, но и бесполезен: он содержит в себе только средство для переваривания пищи (избыточную информацию), а пищи (то есть новой, неожиданной, непредсказуемой информации) в данном случае нет.

**ЗАТМЕНИЯ СОЛНЦА. СЕРДЦЕ И НЕРВЫ.
КЛАССИКА И МОДЕРНИЗМ. ТЕАТР АБ-
СУРДА. СЛОВЕСНАЯ УДАЛЬ. ЗАКОНО-
ДАТЕЛЬНИЦЫ МОД. В ПОИСКАХ ЗОЛО-
ТОЙ СЕРЕДИНЫ**

Какой же вывод следует из проведенного нами энтропийного анализа текста? Прямо скажем, не утешительный. Пока вероятности букв одинаковы, текст был бессмысленно хаотичным. Потом вероятности стали различными, в тексте стал образовываться определенный порядок. Но если продолжить мысленно этот процесс вплоть до логического его завершения, то текст превратится в повторение одной какой-нибудь буквы.

Да ладно бы еще текст! Но мы теперь знаем, что энтропия господствует во всем окружающем мире. Избыток ее грозит хаосом, разрушением, тепловой смертью Вселенной. К счастью, есть в мире и антиэнтропийные процессы. Они обусловлены накоплением информации. Чем больше накоплено информации, тем ниже становится энтропия, тем дальше отодвигается тепловая смерть. А что же в итоге? Избегнув хаоса и разрушения, мир устремляется к упрощению и в конце концов станет похожим на текст из одних «А»?

Не будем пока делать мрачных прогнозов. Стоит лишь оглядеться вокруг, и на душе становится легче: что-то не видно пока, чтобы в окружающем мире господствовал примитивизм. Напротив, мир поражает нас разнообразием и сложностью. А впрочем... Если внимательно приглядеться, можно в нем обнаружить и такие явления, которые очень похожи на текст из одних «А».

Взять хотя бы рефлексy. Что они собой представляют? Стереотипные фразы, которыми тот или иной организм отвечает на различные воздействия внешней среды. Почувствовав боль, вы отдернули руку. Это движение осу-

ществляется рефлекторно, мышцы по одним и тем же командам совершают одни и те же движения, независимо от того, был ли предмет, причинивший вам боль, острым или горячим, накален ли он до 100 градусов или до 500. Вы еще не успели даже осознать ситуацию, а стереотипная фраза уже всплыла сама по себе.

Пока существуют различные вероятности, ответы разнообразны. Когда все свелось к одной букве или к одной фразе, вариации прекращаются — на любые запросы система дает один и тот же неизменный ответ.

Так возникает жестко (или почти жестко) детерминированная система, в которой все заранее предопределено *.

Такой вот жестко детерминированной системой является, в частности, наша Солнечная система. В ней все предопределено на бесконечно долгое время: в 1979 году происходило великое противостояние Марса, 11 августа 1999 года в 11 часов 08 минут по Гринвичу произойдет солнечное затмение в Западной Европе, а 16 октября 2126 года в 11 часов солнечное затмение будут наблюдать москвичи. А ведь когда-то и Солнечная система была совершенно непредсказуемой, энтропийной. Это было в те очень далекие времена, когда вся материя, из которой впоследствии образовалось Солнце, Земля и все остальные планеты, была еще космической пылью, то есть хаосом движущихся в пространстве частиц.

Почему же из хаоса возникла жестко детерминированная система? Потому что условия существования системы тоже жестко определены. Никогда не случается в космосе нечто такое, что заставляло бы планеты нашей системы изменять траектории, скорость вращения — в общем, так или иначе приспосабливаться к новым условиям внешней среды. По крайней мере за всю историю человечества такого пока не случалось. Не предвидится и в обозримом будущем. Хотя в весьма отдаленном будущем это произойдет непременно. Искерпав всю энергию, погаснет наше светило. Возможно, что наша Галактика когда-нибудь столкнется с соседней, и тогда стройная Солнечная система опять превратится в хаос частиц, в рассеянную по просторам космоса пыль. Но такие события в космосе происходят нечасто. А пока их нет, планеты

* Слово «детерминированность» означает «определенность» «Детерминированная система» не обязательно должна быть определена кем-то. В современной науке понятие «детерминации» приобрело обьективный смысл

могут с величавым спокойствием повторять неизменные циклы вращения, как заведенный единожды и навеки часовой механизм.

Можно сказать, что планеты и Солнце — это идеально детерминированная система. Много систем, пусть не столь идеально, но все же в значительной мере детерминированных, можно встретить не только в космосе, но и вокруг нас и даже внутри нас.

В большей степени детерминированным (хотя и не совсем жестко) органом является сердце. Задача его весьма однозначна: сжимайся и разжимайся как можно ритмичней, гони по сосудам кровь. Но для того, чтобы сердце справлялось с этой задачей, ему тоже нужно создать жестко детерминированные условия, «микрокосмос» со своим «микроклиматом»: с постоянным давлением, температурой, составом крови и т. д. Стоит нарушиться одному из этих условий, и сердце тут же начнет «барахлить».

Для создания «микрокосмоса» природа предусмотрела другую, уже совсем не детерминированную, а, напротив, чрезвычайно изменчивую систему регуляции, чутко реагирующую на все изменения внешней среды. Регулировка осуществляется с помощью нервной системы и желез внутренней секреции, вырабатывающих разнообразные гормоны, которые в зависимости от внешних условий и состояния организма могут изменять свой состав. Две эти сложнейшие системы (нервная и гормональная) взаимодействуют между собой и со всеми органами (включая и сердце) путем обмена командами и сигналами, связывающими в единое целое весь живой организм.

В силу детерминированности своих функций само сердце почти не способно приспосабливаться к изменению внешних условий. Всякая созданная природой детерминированная система приспособлена к существованию в строго определенных условиях и становится непригодной, как только меняются обстоятельства, подобно тому, как становится непригодным при перемене адреса текст из одних «А».

Инстинктивные навыки пчел, охраняющих и опекающих свою матку, теряют всякий смысл, как только эта матка из улья удалена. Но пчелы продолжают добывать матке пищу и нести «караульную службу», поскольку их инстинктивное детерминированное «мышление» не приспособлено к таким обстоятельствам, и не дано понять

бедным труженикам-пчелам, что после удаления матки из улья все их усилия уже ни к чему.

Нечто подобное может случиться и с человеком, если его сознание и поступки приспосабливались (или, как говорят кибернетики, адаптировались) к определенным условиям и обстоятельствам в течение многих лет. Бодрые полыхаевские (персонаж И. Ильфа и Е. Петрова) резолюции «Разрешаю», «Запрещаю», «Согласен» и «Утверждаю» хороши до тех пор, пока дело идет более или менее гладко и все решения содержатся в тех документах, которые руководителю остается только «согласовывать» и «утверждать». Но горе, если в силу каких-то новых течений, веяний, обстоятельств прежние методы становятся непригодными и руководителю, привыкшему много лет обходиться всего лишь несколькими директивными формулами, стало необходимо что-либо самостоятельно придумывать, предлагать, решать, изменять! В сложных и переменчивых обстоятельствах при выполнении многозначных, разнообразных, не всегда предсказуемых функций руководитель должен принимать решение не формально, а творчески, его поступки должны быть такими же гибкими, как и язык.

Не удивляет ли вас, читатель, та легкость, с которой мы переходим от языка к планетам, от планет к пчелам, от пчел к сердцу, от сердца к стилю руководства, а от него опять к языку?

Удивляться не следует: ведь нас с вами интересуют сейчас не частные свойства тех или иных конкретных объектов, а закономерности взаимодействия информации и энтропии, общие для самых разнообразных по своей природе систем. Именно такой общесистемный подход к явлениям позволяет сопоставлять то, что казалось несопоставимым в силу множества частных различий, мешающих видеть за деревьями лес.

Для выявления закономерностей взаимодействия информации с энтропией очень удобной системой оказался письменный текст. В отличие, скажем, от наследственных кодов, спрятанных от любопытного взгляда ученого на глубокий молекулярный уровень (в ДНК), все взаимосвязи букв текста и их сочетаний, все вероятностные зависимости между элементами системы осуществляются буквально у нас на глазах. Вот почему, рассуждая об энтропийно-информационных свойствах самых разнообразных явлений, мы будем вновь и вновь сопоставлять их с

письменным текстом, проецировать общие вероятностные закономерности, наглядно проявляющиеся в тексте, на целый ряд самых разных по своей природе систем.

В свою очередь, текст отражает в себе статистические свойства более сложной и универсальной системы — человеческого языка.

Проведенные с помощью методов теории информации статистические исследования написанных на разных языках текстов показали, что несмотря на различия грамматических и фонетических правил, все исследованные языки обладают очень близкими статистическими характеристиками. Этот факт свидетельствует о действии неких общих статистических механизмов, управляющих процессами формирования и развития всех языков.

Наш язык — это гибкая, подвижная, легко адаптирующаяся в различных условиях система. В способности отражать, выражать, объяснять самые разнообразные стороны жизни и заключается основное достоинство языка, сохранившееся в нем потому, что в процессе своей эволюции он не достиг предела «приспособленности», в результате которой системы способны существовать только в определенных жестко детерминированных условиях (пчелы повторяют лишенные смысла инстинктивные действия, а тексты вырождаются в повторение одинаковых букв или слов).

Чтобы всего этого не случилось, язык сохранил в себе непредсказуемость, определенную «порцию» энтропии. Оценить, каков удельный вес этой порции, позволяет опять-таки письменный текст. Подсчитано, что на каждые 4 бита обусловленной жесткими правилами избыточной (предсказуемой) информации приходится порция энтропии (непредсказуемой информации), составляющая примерно 1 бит.

Введем для удобства обозначения

$$G = \frac{H_p \text{ (энтропия)}}{I_{\Pi} \text{ (информация правил)}}$$

Для обычного текста $G = 0,25$.

Текст из одних «А» обладает нулевой энтропией ($H_p = 0$), поэтому для него $G = H_p / I_{\Pi} = 0$.

Текст с максимальной энтропией не подчиняется правилам. Для него $I_{\Pi} = 0$ и соответственно $G = H_p / I_{\Pi} = \infty$

Помимо обычных текстов, существуют специальные тексты: бухгалтерские отчеты, протоколы собраний и заседаний и т. п. Они больше обычных текстов тяготеют к шаблону, в них повторяются стандартные термины и выражения (дебет-кредит, сальдо-бульд, слушали-постановили и т. д.). Для таких текстов коэффициент G будет меньше, чем для обычных, в силу более жесткой детерминированности, большей близости к предельному случаю — тексту из одинаковых слов, слогов или букв.

А обычный текст сохранил одну пятую часть (20 процентов) спасительной энтропии именно для того, чтобы иметь гибкость и многозначность, из которых проистекает совершенство, красота, образность, универсальность и все прочие бесценные качества нашего языка. При $G=0$ мы не могли бы сообщить друг другу ничего нового — можно было бы предсказать заранее все последующие буквы и слова. При $G=\infty$ мы не могли бы понять друга, потому что каждый из нас в процессе общения обрушивал бы на собеседника не подчиняющийся никаким правилам набор несогласованных друг с другом слов («гвоздь бежала при тихое завтра...») или звуков (вроде приведенной в таблице фразы № 1). $G=1/4$ — это наилучшее (на языке кибернетики — оптимальное) соотношение непредсказуемости (энтропийности) и детерминации (правил). Такое соотношение не случайно, оно возникло как результат длительной эволюции языка.

Наличие детерминированных правилами связей ($I_{\Pi} = 4$ бита на каждую букву) обуславливает целостность языка как системы. Гибкие вероятностные связи между словами и буквами позволяют осуществлять и грамматическое и смысловое согласование слов. Именно благодаря вероятностным связям язык приобретает необходимую мягкость: каждое употребляемое нами слово может иметь множество оттенков, зависящих от предыдущих и последующих слов. Сравните, к примеру, значение слова «малиновый» в таких сочетаниях, как «малиновое варенье» и «малиновый звон». Или значение слова «чистый» в сочетаниях «чистый лист бумаги» и «чистый эксперимент»...

Язык поистине неисчерпаем.

Слова многолики, их реальное значение трудно бывает ограничить какими-либо рамками — они то и дело норовят разорвать эти рамки, вступить в совершенно новые смысловые связи. И это не порок, а величайшее достоинство нашего языка как системы. Именно оно, это достоинство,—

основа великого многообразия выразительных средств подлинной поэзии и по-настоящему художественной прозы.

Подойдем теперь к этой обладающей величайшей гибкостью системе с позиций науки. «Недисциплинированность» языка означает для нее недисциплинированность мышления. Наука всегда, во все времена стремилась к терминологической строгости.

Определяйте значения слов,—призывал ученых Декарт. Что значит определяйте?

Это означает: сужайте! Чтобы четко отграничить понятие, нужно его конкретизировать, а такой процедуре далеко не каждое понятие поддается. Отсюда трудности, которые испытывают ученые в своих попытках «обучить» электронную машину понимать человека. Не стоило математикам больших усилий формализовать понятие «равенство». Современной математике удалось даже формализовать такие понятия, как «эквивалентность» и «сходство». Но попробуйте выразить строгим и жестким математическим языком такое понятие, как «впечатление»... Пока это еще никому не удалось и, по-видимому, не удастся никогда.

Становясь более «научным», язык вроде бы усыхает, обесцвечивается, ибо каждая формализованная модель имеет свою строго обозначенную область применения. Приходится вводить всякого рода ограничения. Все это напоминает то, что мы делаем, когда валим живое, шумящее зеленой листвой дерево и превращаем его в простое бревно.

(Можете представить себе, какие муки испытывает ученый, когда он вдруг загорается желанием поведать о своих научных занятиях непосвященному, то есть хоть и на время, но изменить привычке изъясняться на языке формализованных моделей...)

Тем не менее никто не упрекнет ученого за то, что он вместо безгранично многообразного реального явления подвергает анализу, изучает его идеализированную, а стало быть, упрощенную модель. Без строгости научного языка, требующей четких формулировок исходных условий, вообще никакой модели нельзя было бы построить. Более того, у нас просто не было бы науки.

Но так ли независимы друг от друга эти два потока — язык науки и язык, скажем, так: обычный (разговорный, литературный)?

Вот свидетельство ученого: «Вторгаясь в новые для себя области, сами математические методы трансформируются: они становятся более гибкими, менее риторичными, более словесными, менее формальными... Если прежде «хорошим тоном» в математической работе (даже прикладного направления) считалось сказать как можно меньше словами, как можно больше формулами и тщательно скрыть от читателя свои мысли, то теперь математики не брезгают приближенными, ориентированными, полукачественными рассуждениями».

К этому следует лишь добавить: так поступают не только математики, но и представители других отраслей точного знания.

Не менее очевиден и обратный процесс — проникновение, прямо-таки вторжение в наш «обычный» язык технических и научных терминов и понятий. Объяснения этому лежат на поверхности — необычайно стремительное возрастание роли науки в нашей жизни и бурный технический прогресс.

Словом, можно лишь радоваться тому, что наш язык настолько универсален как система, что может служить и научному познанию, и художественному творчеству.

Английский писатель О. Хаксли во время полемики, вызванной уже упоминавшейся нами статьей Сноу «Две культуры и научная революция», издал в Нью-Йорке книгу «Литература и наука». В ней он, в частности, сопоставил язык научных и литературных произведений и пришел к выводу, что если для научного языка характерна однозначность, то литературное творчество отличается «языковой свободой», выражающейся в нарушениях порядка и традиционных связей слов. При этом О. Хаксли отметил, что чрезмерная «словесная удадь» доводит литературный язык до абсурда (в наших обозначениях этому случаю соответствует G , значительно превышающий оптимальную величину). В самом деле, если взять для примера два крайних случая ($G=0$ и $G=\infty$), то первому из них будут соответствовать литературные штампы («ясный взор», «синее небо»), а второму — бессмысленные словосочетания.

И лишь условие «золотой середины» дает такие образные словосочетания, как «страна березового ситца» (С. Есенин), «отношение плевое» (В. Маяковский), «поступь надвьюжная» (А. Блок). Читателя поражают одновременно и неожиданность и точность найденных талант-

ливыми поэтами слов. Именно благодаря неожиданному (то есть не применяемому в обиходной речи) и точному сочетанию слов «надвьюжная поступь» в воображении читателя возникает легко ступающий, почти парящий над поземкой Христос.

Гармоничность поэтических произведений зависит не только от смысла, но и от звуковой и ритмической окраски образующих ткань стихотворения слов. Каждому поэтическому произведению присуща определенная музыкальность, поэтому закономерно возникает вопрос об оптимальном соотношении «стандартных» и неожиданных сочетаний ритмов и звуков, определяющем гармонию музыки или стихов.

Советский ученый В. Детловс исследовал «на энтропийность» сочетание звуков в музыкальных произведениях и получил соотношение детерминированности и стохастичности звуковых сочетаний, близкие к тем же соотношениям в языке.

Один из вопросов теории стихосложения заключается в том, в каких пределах те или иные поэты нарушают строгие ритмические закономерности стиха. В свое время такие исследования проводил поэт Андрей Белый. В наши дни известный советский математик А. Н. Колмогоров исследовал поэтические ритмы с помощью ЭВМ. Результаты исследований показали, что ритмы большинства поэтических произведений представляют собой, по мнению лингвистов, «игру упорядоченности и их нарушений». Игра эта, как и любая другая игра в прямом смысле этого слова, ведется в пределах определенных правил. Если поэт чрезмерно увлекся нарушениями поэтических ритмов, стихи «рассыпаются», теряют свою форму, перестают восприниматься как нечто единое, завершенное, сцементированное ритмической музыкальной канвой.

Если поэт заботится только о том, чтобы ритмы его стихов уложились в прокрустово ложе классических ямбов и хорея, его упрекнут (и в ряде случаев вполне обоснованно) в подражательности. Стихи для знатоков и ценителей поэзии будут казаться архаичными, возможно, даже раздражать «знакомостью» либо убаюкивать гладкостью.

Поэзия как живая система не может существовать в рамках застывших форм и рецептов. Искусство поэта в том как раз и заключается, чтобы найти гармонию в противоречивых стремлениях к сохранению ритма и к его

выразительным «сбоям», к соблюдению классических традиций и к смелому их нарушению ради того самого новаторства, которое движет поэзию вперед.

Десятилетиями делятся горячие споры между приверженцами традиционных форм в искусстве и теми, кому по душе модернизм.

— Бессмысленная мазня! — ворчит, глядя на абстрактную живопись, апологет классического искусства.

— Мертвячина! — наскакивает на классиков слишком падкий на модные веяния ценитель новейших форм.

Кто из них прав? Где же она, эта вечно выигрывающая спор середина, которая не случайно названа «золотой»? А не попытаться найти ее с помощью функции энтропии и вычисляемого с ее помощью коэффициента G ?

В самом деле, если картина (стихотворение, музыкальный этюд) созданы в строгом соответствии с классическими канонами, значит, они «запрограммированы предками», в них нет ничего неожиданного, то есть их G близок нулю. Напротив, если художник (поэт, композитор) творит без оглядки на существующие каноны, как «бог на душу положит», G возрастает, может приобрести значение бесконечности. В подобных произведениях трудно бывает уловить какой бы то ни было смысл. Наглядной иллюстрацией может служить распространенное в настоящее время на Западе направление театрального искусства — «театр абсурда».

Для персонажей «театра абсурда» характерны подавленность, психологическая угнетенность. Каждый герой поглощен собственными переживаниями и заботами, как говорится, полон собой. Внешне эти особенности психики проявляются как отсутствие чувства партнера, каждый из персонажей, не вслушиваясь в слова окружающих, говорит о своем. Диалоги и взаимоотношения участников спектакля строятся по принципу «в огороде бузина, а в Киеве дядька». Между героями почти не возникает контактов, потому что когда один говорит про Ерему, другой говорит про Фому.

Возникновение «театра абсурда» — явление, в общем-то, закономерное, обусловленное затрудненностью человеческих отношений, которое породил присущий нашему веку и неведомый нашим предшественникам темп. Герои пьес «театра абсурда», игнорирующие переживания и чувства партнеров, как бы без слов поучают зрителей и друг друга:

— Не лезь ты к другим со своими переживаниями! У всех и без тебя хватает забот и хлопот!

Вопрос о причинах, породивших на Западе это новое веяние в драматургии, увел бы нас далеко за пределы обсуждаемых в этой книге проблем. Нам пришлось бы углубиться в анализ разъедающих западное общество социальных противоречий, порождающих неуверенность человека в самом себе и в завтрашнем дне. О связи всех этих реально существующих факторов с тенденциями драматургии «театра абсурда» уже написаны специальные книги, нас же с вами «театр абсурда» интересует только с точки зрения соотношения предсказуемых и неожиданных слов и поступков его персонажей. Другими словами, с помощью введенного нами коэффициента стохастичности мы попытаемся исследовать не причины, а результат.

Как уже было сказано, характерной чертой пьес «театра абсурда» является бессвязность диалогов и взаимоотношений их персонажей. В принятых нами обозначениях это означает, что пьесы «театра абсурда» отличаются от пьес обычного театра большим значением G .

Надо заметить, что тенденция роста стохастичности в произведениях драматургии имеет исторические корни, зародившиеся еще задолго до возникновения «театра абсурда». Как известно, классическая драматургия жестко детерминировалась правилами «трех единств». Это было единство времени: никаких перескоков в прошлое или скачков типа «прошло 5 лет»; единство места: все действия происходили при одних декорациях, изображавших, скажем, площадь какого-то города, залу дворца и т. п.; единство действия: никаких «побочных» событий, кроме завязки, кульминации и развязки основной интриги, в пьесе быть не должно.

Творческая фантазия драматургов, как правило, не умещалась в прокрустово ложе «трех единств». По мере развития мировой драматургии эти единства нарушались все чаще и чаще, и все же следы их влияния можно обнаружить и у Мольера, и у Лопе де Вега, и у Фонвизина, и у Грибоедова, и у многих других.

Постепенно время смело детерминирующие сценические события рамки. И вот, наконец, «театр абсурда», где полностью отсутствует единство времени, места и действия; где герои произвольно перемещаются в пространстве и времени; где эти герои в силу различий характеров, взглядов, переживаний имеют так мало точек

соприкосновения друг с другом, что часто становится непонятным, зачем автор пьесы вытащил их всех на сцену и «совместил». Стохастичность действия в «театре абсурда» близка к бесконечности, герои перестают понимать друг друга, а зритель, подавленный энтропией, не понимает ни героев, ни автора, ни режиссера, поставившего этот абсурдный спектакль.

Иначе и быть не может: если главной героиней спектакля оказывается энтропия, спектакль становится таким же бессмысленным, как энтропийный текст.

Может быть, следует «узаконить» описанный нами энтропийно-информационный подход к оценкам художественных достоинств произведений искусства и решать возникающие по этому поводу споры путем подсчета величины G ?

Если бы все было и в самом деле так просто! Не нужно было бы многочисленных авторитетных комиссий и их, к сожалению, далеко не беспристрастных оценок — кончились бы долгие и зачастую бесплодные споры, после которых каждая из сторон все равно остается при своем мнении и ни у кого из спорящих нет таких весомых аргументов, чтобы кто-то кого-то в чем-то мог убедить. Как было бы хорошо: поручили оценку произведения роботу, и он, окинув картину своим электронным оком или прослушав симфонию своим микрофонным ухом, вычислил коэффициент G и вынес свой приговор.

Но в том и беда, что для реальных случаев и конкретных произведений коэффициент G вычислить не так-то легко. Одно дело — буквы алфавита. Другое дело — поэтические образы, гармония звуков симфонии, живописные сочетания красок и форм. Тут можно пока лишь рассуждать о тенденциях (тяготении к $G=0$ или к $G=\infty$) и утверждать, что для каждой формы в принципе существует тот оптимум соотношения неожиданного и привычного, который создатели и ценители произведений искусства должны не вычислять с помощью формул, а чувствовать, как говорят, «нутром».

А апологетам традиционного, устоявшегося, незыблемого и приверженцам модернизма придется по-прежнему полемизировать, горячиться и расставаться, досадуя друг на друга, но ничего друг другу не доказав.

В более простых случаях G удастся определить довольно-таки точно. Неожиданной областью подобных исследований оказался, например, процесс становления...

мод. Американские социологи произвели опрос большого количества женщин, чтобы выяснить, что заставляет их следовать моде. Оказалось, что около 70 процентов опрошенных следуют моде, чтобы не отличаться от окружающих, а оставшиеся 30, наоборот, стремятся с помощью модной одежды выделиться из толпы. Это и есть законодательницы моды, та самая $1/3$ часть, которая так же порождает неожиданность моды, как $1/4$ энтропийности текста порождает неожиданность устных и письменных фраз.

Близкие значения величины G для языка и для моды, по-видимому, не случайны. Процесс становления моды — это тоже процесс эволюции, только длится он не тысячи лет, как эволюция языка, не миллионы лет, как эволюция биологических видов, а всего лишь годы, а иногда и один сезон.

Во всех исследованных системах (ибо и мода — это тоже определенного рода система) «золотая середина» между детерминацией и энтропией оказалась вовсе не «серединой», а величиной G , близкой к $1/3$ или $1/4$. Есть в этом, по-видимому, какая-то закономерность, корни которой следует искать в сложном процессе формирования языка. Ведь язык — это наиболее емкое и универсальное средство отображения жизни, средство, без которого мы не можем описывать ничего из того, что происходит вокруг. А поскольку и сам язык формировался под влиянием закономерностей окружающей жизни, не удивительно, что он отразил в себе наиболее часто встречающееся в жизни соотношение G .

К сожалению, определить количественное значение величин избыточной информации, энтропии и их отношения $G = H_p / I_{\Pi}$ удастся далеко не для всех систем. Как, например, подсчитать отношение детерминированных (запрограммированных) наследственных признаков к тем признакам, которые могут меняться под влиянием мутаций? Задача пока неразрешимая: пройдет еще немало десятилетий, прежде чем наука, уже научившаяся узнавать «буквы» и отрывки «фраз» микроскопического генетического кода, сумеет полностью прочитать весь «текст».

Однако можно предполагать, что значение G , полученное для наследственных «записей», тоже окажется далеким от «середины» и близким к значению G для нашего языка. В самом деле, опыт подсказывает, что от курицы не может появиться на свет не только мышенок, но даже

грачонок или утенок. Стало быть, в наследственном «тексте» содержится весь комплекс признаков данного биологического вида. Что же касается отклонений (мутаций), позволяющих будущей курице иметь свою собственную окраску, размеры крыльев, ног или клюва, то они составляют, по-видимому, не половину всех наследственных признаков, а лишь какую-то часть. Благодаря мутациям не исключено даже появление на свет вошедшей в поговорку белой вороны, но все же она опять-таки остается вороной, а не голубем, не мышью и не щенком.

Можно предполагать, что эта закономерность (мутации, составляющие некоторую долю от детерминированной информации) соблюдается при развитии многих систем. Например, при создании новых технических средств, механизмов, приборов, разработчики стремятся использовать все типовые узлы и детали, то есть всю накопленную в данной области техники информацию I_n . Однако в каждом новом устройстве возникают новые специфические задачи, поэтому разработчикам приходится искать оригинальные, непредсказуемые решения, без которых был бы вообще немислим прогресс. Вполне возможно, что между заранее запланированными направлениями научно-технического поиска и теми новыми исследованиями, которые возникают в ходе реализации этого плана, существует оптимальное соотношение, близкое к значению G языка.

**ПРЕЛЕСТЬ СЛУЧАЙНОСТЕЙ. СПОНТАННАЯ АРХИТЕКТУРА. ФОРМУЛА СЧАСТЬЯ.
«ЧТОБ НЕ ЗАГЛОХЛА НИВА ЖИЗНИ...»
ПОДРАЖАНИЕ МУРАВЬЯМ**

Кто из нас порой не испытывал непреодолимой потребности в неожиданном? Не во имя ли этого неожиданного мы стремимся любой ценой попасть на матч, на премьеру, достать как можно скорей недавно опубликованную и уже нашумевшую книгу, провести отпуск в неведомых нам дальних краях?

Но есть в нашей жизни и другие моменты, когда, вдоволь намыкавшись по белу свету, устав от знакомств и впечатлений или пресытившись просмотренными подряд без разбору фестивальными фильмами, мы с удовольствием возвращаемся к размеренной и регламентированной домашними и служебными обязанностями жизни.

Все естественно: наша психика есть отражение внеш-

него мира во всей совокупности его частично случайных, а частично детерминированных явлений.

Эта проблема не замыкается в рамки одной лишь теоретической психологии. С ней приходится сталкиваться и при решении ряда практических задач. В частности, архитектурных. «Прелесть случайного в этом рациональном мире» — так называется статья профессора швейцарского технологического института, архитектора Бенедикта Губера, опубликованная в швейцарской газете «Нойе цюрхер цайтунг» и в «Литературной газете» от 8 января 1975 года.

Название статьи Губера достаточно ясно говорит о сущности обсуждаемой в ней проблемы: в каком соотношении должны сочетаться рационализм и «спонтанные импровизации» архитектора при планировании и проектировании современных городов? Автор статьи пытается найти решение, исходя прежде всего из особенностей психологии горожан. «...Человеку необходимо не только чувство спокойствия, защищенности, которое обещает удовлетворить планирование; ему нужно также, чтобы в жизни имелся элемент случайного. В этой тяге к случайному, неожиданному несомненно играет роль ожидание чуда, большого счастья. Но в ней отражается и неприятие предназначения, предопределенности будущего».

Роль случайного в человеческой жизни Губер вполне правомерно сопоставляет с «той творческой созидательной ролью, которую играет случайность и в эволюционной теории, и в процессах образования из молекул устойчивых соединений». Что же касается человека, то без этого элемента случайности он не может ощущать полного счастья, хотя бы в силу стремления к выражению своей индивидуальности, своего «Я». Ощущение счастья в немалой степени зависит от результатов созидательного творчества, а в творчестве всякого рода «спонтанным мутациям» принадлежит едва ли не основная роль.

Однако есть и такая категория людей, для которых представление о счастье неразрывно связано с ощущением покоя. По-видимому, полнота человеческого счастья в большой степени определяется тем, насколько продиктованные обстоятельства условия жизни данного индивидуума соответствуют потребностям его психики, то есть заложенному в нем от природы и сформированному его воспитанием *Г*.

«Планирование городов,— констатирует Губер,— мо-

жет обеспечить только внешние рамки, необходимые для того, чтобы каждый индивидуум и общество в целом могли жить полной жизнью. Но внутри этих рамок и вне их должно оставаться достаточно простора для всей сложности человеческих поступков и чувств». Губер призывает к возрождению так называемой спонтанной архитектуры, включающей в себя элемент случайного, неожиданного. «Стиль барокко был великим мастером по части сюрпризов такого рода», — замечает он.

Вопрос, поставленный швейцарским архитектором, весьма актуален. Стимулируемый бурным развитием промышленности и техники в наш век и в самом деле во всем господствует рационализм. Он накладывает отпечаток, в частности, и на архитектуру современных городов.

В своих опасениях Губер не одинок. В разных странах ведутся поиски путей к решению этих проблем. На одном из симпозиумов французский архитектор Ляпрад заявил, что будущее будет скучным и неинтересным, если людей, получивших возможность с невероятной быстротой преодолевать огромные расстояния и запросто попадать, скажем, из Парижа в Гонолулу, будут встречать одинаковые кинотеатры и одинаковые фасады. Невольно начнешь тосковать о прошлом, о тех временах, когда люди могли наслаждаться очарованием именно Испании, именно Франции, Швейцарии, Англии или Марокко.

Этому очарованию не может противостоять «мир, в котором доминируют четкие силуэты кубических зданий, симметричные структуры, безупречно правильные сетки городских районов и улиц, пористые, уныло-серые бетонные поверхности, мертвенно поблескивающие стекла и уныло-холодная сталь». Так рисует типизированный облик современного города газета «Нойе цюркер цайтунг» в своих комментариях, предпосланных цитируемой нами статье Губера. Такой мир «не может быть уютным», — заключает газета. И в этом она, конечно, тоже абсолютно права.

По словам Губера, житель такого города испытывает «великую притягательную силу старых деревень, старинных городов и девственной природы». И тот факт, что с каждым годом все больше и больше людей стремится провести в подобных местах свой отдых, Губер справедливо объясняет «привлекательностью элементов случайного, неожиданного». «Массовое бегство отпускников из больших городов, — продолжает он, — обусловлено, помимо

прочего, стремлением вырваться из запланированной жизни и запланированного окружения, бежать навстречу сюрпризам, которые сулят средиземноморские города, где хаотические нагромождения домов, кривые улицы и переулки рождены, казалось бы, волей случая». В этом стремлении горожан профессор Губер усматривает «подлинный конфликт с задачами и содержанием планирования» современного города.

Но почему же непременно конфликт? Разве элемент случайного нельзя заранее предусмотреть в любом плане и, в частности, при планировании городов? Здесь придется согласиться не с Губером, а с директором московского Центрального научно-исследовательского института теории и истории архитектуры Ю. Яраловым, который, полемизируя с Губером, соглашается с общей постановкой проблемы, но в противовес Губеру считает, что «генеральный план не враг художественного образа, а непременная основа создания такого образа».

Однако и это утверждение нуждается в уточнении, поскольку план плану рознь и в случае чрезмерной детерминированности он может для художественного замысла архитектора действительно стать «врагом».

На основании рассмотренных нами общих закономерностей можно сделать вполне определенный вывод: в архитектуре, так же как и в любой другой области творчества, существует некий оптимальный коэффициент *G*. Искусство планирования города в целом или создания архитектурного облика отдельного здания в значительной степени определяется тем, насколько авторы плана или проекта смогли совместить рациональные требования удобства с оригинальностью и неожиданностью архитектурных решений, поскольку натуре человека, как и всей прочей природе, противопоставлены как чрезмерное бравирование спонтанностью (приводящее к «оригинальничанию» в искусстве и архитектуре), так и чрезмерная детерминированность, продиктованная слишком педантичным подчинением требованиям выгоды и удобства и всему тому, что мы определяем термином «рационализм».

Да и самой человеческой психике противопоставлены и та и другая крайности. Чрезмерная психическая спонтанность часто приводит к нравственной неустойчивости, беспокойству, лишает целенаправленности и способности к сосредоточенной и упорной работе. Чрезмерно детерминированная психика убивает творческое начало, лишает

человека необходимой доли артистизма и затрудняет его адаптацию в различных жизненных ситуациях. Одна из главных задач психиатрии заключается именно в том, чтобы спокойной обстановкой детерминировать слишком спонтанную психику или, напротив, разнообразием эмоций и впечатлений «расшевелить» эту спонтанность, изжить чрезмерный интеллектуальный и психологический детерминизм.

Вопрос этот затрагивает каждого. Ну-ка, признайтесь, читатель: в трудные минуты жизни, когда вас, словно сговорившись, одна за другой преследуют неудачи, не случалось ли вам приписывать эту напасть влиянию некоего рока?

Гоните эти бесплодные мысли! Помимо физиологической и психической детерминированности, заложенной в наш организм от рождения, природа предоставляет нам в наших поступках и свободу выбора, вполне достаточную для того, чтобы внезапно найденным удачным решением мы могли в любой ситуации, при любом стечении обстоятельств найти неожиданный поворот.

Некоторые люди чрезмерно склонны к фатальному восприятию действительности и оттого чересчур пассивны. Другие, напротив, воспринимают мир как нагромождение нелепых случайностей и в своих решениях и поступках проявляют, как правило, неоправданный авантюризм.

Сопоставляя черты характера двух персонажей своей исторической повести «Завещаю вам, братья» — революционера-народовольца Михайлова и реакционера Дистерло, Юрий Давыдов пишет: «Отчего все-таки один делается Михайловым, а другой Дистерло? Вот говорят обстоятельства, среда и прочее. А тут и почва одна, и условия одни, солнышко одно, а стезя разная. Задача, по-моему, со многими неизвестными. Может, и вовсе тупик. Я полагаю, есть таинственный закон, распределительный, что ли! Такой-то, скажем, процент консерваторов, а какой-то — бунтующих. А? Как полагаете? Нет, право, таинственный закон соотношения темпераментов, наклонностей, талантов. Не то, чтобы спрос и предложение, а высшая гармония, чтоб не заглохла нива жизни».

Не правда ли, эти размышления писателя совпадают с общим выводом, который был сделан нами на основании энтропийных свойств языка? В самом деле: для поддержания «нивы жизни» (а жизнь, как известно, не может стоять на месте, не превращаясь в смерть) в любой си-

стеме (в том числе и в общественной) должен сформироваться оптимальный коэффициент стохастичности G_{opt} . Соблюдая этот закон на всех уровнях организации (для веществ неорганических и органических, для организмов простейших и многоклеточных, для биологических сообществ и т. д.), природа распространила тот же закон и на свой «мыслящий дух», то есть на человека

Глубочайший исследователь противоречивой человеческой натуры Федор Михайлович Достоевский писал о двух категориях «наблюдателей жизни»: «Для одного все явления жизни проходят в самой трогательной простоте, и до того понятны, что и думать не о чем, смотреть даже ни на что и не стоит». Другой же напротив, с необычайной остротой воспринимает сложность наблюдаемых явлений, но он не в силах в них разобраться, и неумение это столь для него мучительно, что приводит к катастрофе. При этом Федор Михайлович замечает, что приведенные им примеры иллюстрируют две крайности (по нашей терминологии — детерминированную и спонтанную психику), а между этими крайностями «помещается весь наличный смысл человеческий» (отвечающий в принятых нами обозначениях оптимальному значению G). С этих позиций Достоевский отвергал возможность построения «благополучного» общественного уклада на основе подавляющего индивидуальность жестко регламентированного рационализма. «Какая уж тут своя воля будет, — рассуждает герой «Записок из подполья», — когда дело доходит до таблички и арифметики, когда будет одно только дважды два четыре. Дважды два и без моей воли будет четыре. Такая ли своя воля бывает?»

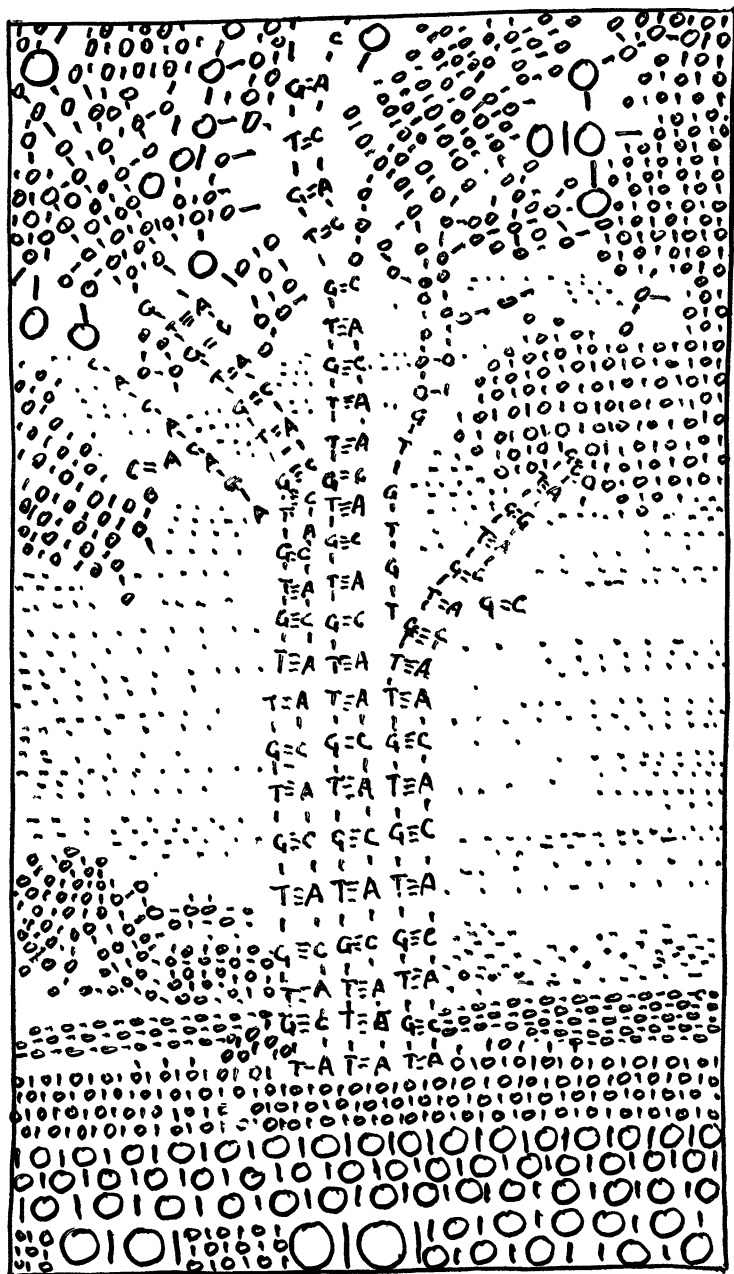
Попытки создания социологических теорий, основанных на жестко регламентированном рационализме, предпринимались и в наши дни.

Современный американский философ Б. Ф. Скиннер написал на эту тему книгу «По ту сторону свободы и достоинства», опубликованную в Нью-Йорке в 1971 году. В ней Скиннер доказывает необходимость создания «поведенческого общества», в котором специально разработанная система поощрений и наказаний поможет привить всем членам такого общества навыки поведения, приносящие пользу обществу в целом. Не правда ли, предлагаемый способ «улучшения общества» чем-то напоминает обыкновенную дрессировку? Сходство отнюдь не случайное в основу концепции Скиннера положено «научное»

направление, родившееся именно при изучении поведения животных,— так называемый «бихевиоризм» (от английского behaviour, что значит «поведение»).

Но человек — не животное, а общество — не муравейник, и это глубоко понимал еще Достоевский, писавший около 100 лет назад: «Может быть, что и вся-то цель на земле, к которой человечество стремится, только и заключается в одной непрерывности процесса достижения, иначе сказать в самой жизни, а не собственно в цели, которая, разумеется, должна быть не иное, как дважды-два четыре, то есть формула, а ведь дважды-два четыре есть уже не жизнь, господа, а начало смерти».

Великолепное обобщение! Да, полное подчинение формулам неизбежно приводит к прекращению развития, к той самой «механической смерти», на которую обречен жестко детерминированный мир.



МОЙ ПРОСВЕЩЕННЫЙ ДРУГ. ИНФОРМАЦИЯ И НУС. МУДРЕЦЫ СОЗЕРЦАЮТ МИР. ЗА СВОБОДУ ВОЛИ! О СПОРЕ, ДЛЯЩЕМСЯ 2500 ЛЕТ. КАК РОЖДАЛИСЬ КЕНТАВРЫ. ЛЮБОВЬ ПОБЕЖДАЕТ ВРАЖДУ

Есть у меня старый друг, можно сказать, заядлый гуманитарий. Я употребил не очень литературное слово «заядлый», потому что именно таким он всегда и был. Мы вместе кончали среднюю школу, и я хорошо помню, как люто он ненавидел физику и математику. Зато мог ночи напролет читать Достоевского, спорить о Блоке или писать стихи, новеллы или очередной свой искусствоведческий трактат.

И о ночах упомянул я не случайно: он почему-то предпочитал приобщаться к искусству именно по ночам.

— Тебе что, дня мало? — спросил я его однажды.

— Когда есть вдохновение, тогда и пишу!

Помимо физики и математики, он ненавидел еще всяческий распорядок: планы сочинений, расписания уроков, перечни дел на текущий день. Думаю, что и математику он не любил прежде всего за то, что в ее теоремах и формулах тоже усматривал «распорядок». Не понимал он этих формул не потому, что был не способен, а потому, что не желал их понимать.

В школе мы с ним общались лишь мимоходом: жили мы хоть и в одном районе, но друг от друга довольно-таки далеко. А когда Новый Арбат раскидал бывших жителей староарбатских переулков по разным «периферийным» районам столицы, судьбе было угодно, чтобы мы с ним оказались не только в одном районе, но и в одном доме и даже в одном подъезде, только на разных этажах. С тех пор мы довольно часто навещаем друг друга и толкуем о житейских, служебных и всяких прочих делах.

Стихов он теперь не пишет, редко — рассказы, а постоянно занят литературной критикой, историей искусства и сочинением разных историко-литературных эссе. В частности, несколько лет назад он участвовал в диспуте «физиков» с «лириками» и, конечно же, нападал на физику, которая, по его мнению, «убивает эмоции», «подавляет нравственное начало», «культивирует рационализм».

Я пытался с ним спорить, а он мне ответил словами Платона:

— «Поэзия и философия издавна в каком-то разладе». Между прочим, эти слова были сказаны более 2000 лет назад. И ничуть при этом не устарели. Древние греки меньше нас знали, но мыслить они умели не хуже, чем мы. Кстати, под философией Платон подразумевал всю науку. Ведь тогда физики еще не было, ее придумал потом Аристотель. А заодно он изобрел еще и формальную логику, навеки сковавшую свободную мысль.

— Ну уж это ты явно перегибаешь! На основе формальной логики Аристотеля спустя много столетий возникла математическая логика Буля. А она стала основой для построения логики электронных машин.

— Ну и что из этого следует?

— А то, что электронно-вычислительные машины не сковывают, а освобождают человеческую мысль.

— Это еще вопрос!

— Ты что же, станешь опровергать очевидные вещи? Расчеты, которые мы теперь поручаем машинам, раньше делали люди.

— Неверно! Раньше этих расчетов не делал никто! Машина прожорлива. Чем больше она переварила чисел, тем больше ей подавай новых задач. Ты посмотри, сколько людей суетится теперь вокруг электронной машины! Одни копаются в ее бесчисленных проводах и контактах. Другие заняты круглосуточным приготовлением таблиц, магнитных дисков, лент, перфокарт. Не приведи бог на двадцать минут оставить машину «голодной»! Пропадет машинное время! Чепе! Так что поди еще разберись, кто на кого больше работает: вы на машину или машина на вас!

— Послушать тебя, так выходит, что машину придумали ради забавы. Ведь их используют для решения самых необходимых задач.

— А кто эту необходимость определил?

— Она продиктована всем ходом истории и прогресса.

— Так ведь «лирики» спорят с «физиками» как раз по этому самому поводу: а туда ли ведет нас прогресс?

Признаюсь, что спорить с ним трудно. Давит он меня и эрудицией, и своим искусством полемики, и. Даже не знаю чем же еще. А может быть, правотой?

Как-то я поделился с другом своими соображениями о том, что по мере развития теории информации само

понятие «информация» все более явно приобретает всеобъемлющий смысл

— Почти, как энергия,— начал я размышлять в присутствии друга.— Энергия характеризует интенсивность движения. Может быть, информация тоже характеризует движение, только с несколько иной стороны? Чем больше система хранит информации, тем больше порядка в движении ее элементов. Под «элементами» мы понимаем все, что угодно: соблюдающие определенную «очередь» буквы письменных текстов, движущиеся, но не нарушающие «строй» атомы или молекулы разных кристаллов, органических или белковых веществ.

— Ты думаешь, что сказал что-то новое? — неожиданно перебил меня друг

— Да, такой взгляд на информацию...

— Да причем тут информация! — воскликнул он с раздражением.— Новый термин — и только! То, что можно теперь называть «информацией», было открыто более 2000 лет назад.

— Кем?!

— Например, Демокритом. Он, как и ты, утверждал, что различными комбинациями одинаковых атомов создаются разнообразные явления, вещества и предметы, подобно тому как комедии и трагедии пишутся при помощи одинаковых букв.

— Это всего лишь метафора! — пытаюсь я возразить своему просвещенному другу.

— А информация — не метафора?

— Нет! Ее можно измерить. С ее помощью можно исследовать сложные упорядоченные системы, возникающие в природе, проследить как по мере накопления информации из атомов-букв сами по себе складываются самые разнообразные тексты — кристаллы, белки, живые клетки, организмы, мозг.

— Ладно,— опять прервал меня друг.— Демокрит в самом деле тексты комедий упомянул для сравнения. А знаешь, что говорил по этому поводу Анаксагор?

— Вот ты сказал,— продолжал он свою мысль,— что существующий в природе порядок определяется накопленной информацией Анаксагор же писал, что порядок этот создает некий Нус. Названия разные, но, согласись,— суть-то едина!

Тут я, кажется, понял, почему мне так трудно бывает с ним спорить. Мне неизвестно многое из того, что знает он.

Я достал много книг о греческих мыслителях, сочинения Аристотеля, Платона, Демокрита и многих других мудрецов.

Прочитал я и про Нус. Действительно, под именем Нус Анаксагор подразумевал некое организующее начало в природе. Может быть, информация — это и в самом деле анаксагоровский Нус?

Тогда я решил подойти к проблеме с несколько иной стороны. Что значит само слово «Нус» в переводе с греческого на русский? «Нус» — это «разум». Стоп!

Вот, собственно, где зарыта собака. Анаксагор считал, что природа наделена разумом. Чистейший идеализм! Чем же тогда этот Нус лучше самого что ни на есть традиционного бога: захотелось ему порядка в природе, он его по своему разумению и сотворил! Зато теория информации и кибернетика прекрасно обходятся без «высшего разума» и без бога. Для возникновения какой-либо упорядоченной системы не нужен «высший разум» — достаточно взаимодействия материальных частиц и всякого рода (тоже материальных!) полей. Неустойчивые системы не существуют долго. Зато удачные комбинации могут существовать неограниченное время, вступать во взаимодействие с другими системами и способствовать образованию новых, более сложных упорядоченных систем.

Принцип естественного отбора наиболее наглядно проявляется в биологии, однако это вовсе не значит, что отбор «на выживаемость» не осуществляется при образовании вовсе не относящихся к биологии неорганических систем. Именно благодаря «естественному отбору» возникают в природе устойчивые физические, химические и геофизические системы. Элементы систем взаимосвязаны между собой таким образом, что их реакция на воздействие внешних факторов всегда направлена на уменьшение воздействий.

Этот принцип, общий для всех устойчивых материальных объектов, был сформулирован французским ученым Ле Шателье.

Общность законов развития материального мира, действующих в области органической и неорганической природы, получает новое подтверждение при исследованиях энтропийно-информационных соотношений на всех структурных уровнях организации, начиная с взаимодействия элементарных частиц, атомов и молекул и кончая образованием сложных биологических, интеллектуальных и

электронно-вычислительных систем. И при этом все звенья материального мира обходятся без вмешательства «высшего разума». Для реализации заложенной в самый фундамент материи тенденции самодвижения и развития ей не требуется ни платоновская Идея, ни анаксагоровский Нус.

Конечно, в той или иной степени почти все мудрецы древности «грешили» идеализмом. И все же, учитывая, что нас разделяют более двух десятков столетий, нельзя не восхищаться даже самой постановкой этих сложных проблем.

Древняя Греция... Страна, породившая бессмертные мифы о богоподобных героях и полных поистине человеческой жизнерадостности богах. Страна аристократов, наслаждающихся всеми благами жизни, и рабов, бдительно оберегающих дорогой сердцу хозяев покой. Страна пышной Трои и несчастной Кассандры. Страна храмов, дворцов, украшенных колоннами, барельефами и скульптурами из снежно-белого мрамора, сверкающего на фоне по-южному темной зелени кипарисов, платанов и мирт. Страна отважных моряков и веселых торговцев, страна ослепительно лазурного моря и пронзительно голубого неба, страна виноградных вин и тенистых оливковых рощ. Страна мудрецов, пытавшихся отвечать на вопросы, над которыми наука билась еще два с половиной тысячелетия, да так и не смогла их разрешить до конца.

Это был удивительнейший этап в истории мировой науки — этап зарождения почти всех научных идей. Наука еще беспомощна, как новорожденный в колыбели: нет ни развитой математики, ни измерительной техники, есть только чисто умозрительное желание понять, как «устроен» окружающий мир.

За неимением лаборатории Диоген избирает своим пристанищем бочку, чтобы в полном уединении предаваться размышлениям о совершенстве природы и мудрости трактующих эту природу философских трудов. Демосфен упражняется в диалектике*, адресуя свое красноречие непосредственно морю. Сократ прививает ученикам «любовь к мудрости»** на ступенях афинских хра-

* Первоначальный смысл слова «диалектика» — искусство ведения спора.

** «Любовь к мудрости» — первоначальный смысл слова «философия».

мов. Платон размышляет о судьбах мира под сенью тенистых мирт.

А Аристотель, подвергая критическому анализу учение, проповедуемое Платоном, размышляет о формальных законах логики и об объективных законах природы. Это он первым в мире произнес слово «физика», обозначив этим словом общее природоведение, ставшее затем матерью всех естественных наук.

За неимением микроскопов, телескопов, измеряющих различные физические параметры приборов, мыслители Древней Эллады могли предаваться лишь размышлению и созерцанию, довольствуясь информацией, получаемой непосредственно из окружающего мира и полагаясь только на подаренные человеку природой пять органов чувств. Но и этого оказалось достаточно для постановки таких проблемных вопросов, над решением которых наука бьется и по сей день.

«... В многообразных формах греческой философии,— замечает по этому поводу Энгельс,— уже имеются в зародыше, в процессе возникновения почти все позднейшие типы мировоззрений. Поэтому и теоретическое естествознание, если оно хочет проследить историю возникновения и развития своих теперешних общих положений, вынуждено возвращаться к грекам». Вклад древнегреческой философии в мировую науку Энгельс считал величайшим достижением «маленького народа, универсальная одаренность и деятельность которого обеспечили ему в истории развития человечества место, на какое не может претендовать ни один другой народ».

Каждый из античных философов по-своему постигает и объясняет мир. Без ускорителей и фазотронов Демокрит проникает умственным взором в первозданный мир атомов. Без рентгеновских аппаратов и даже без хирургических скальпелей Эмпедокл и Анаксагор пытаются объяснить, как устроен человеческий организм. Не обходится без издержек. Например, древние греки считали, что вместилищем человеческого разума является... диафрагма. Что поделаешь! Не подтвержденная опытом чисто умозрительная методика постижения истин где-нибудь обязательно дает сбой.

Но были и поразительные прозрения. К их числу в первую очередь следует отнести гениальную гипотезу об атомном строении мира. Лишь 24 века спустя наука сумела создать технические средства, благодаря которым

эта гипотеза получила экспериментальное подтверждение.

Однако и она была не без изъяна. Изъян в теории Демокрита уловил Эпикур — глубокий и разносторонний мыслитель, почему-то прославившийся среди далеких потомков в первую очередь как певец беззаботности и наслаждений. Эпикур первым сказал, что, приняв безоговорочно гипотезу Демокрита, придется признать и вытекающий из нее жестко детерминированный и полностью запрограммированный мир.

Правда, во времена Эпикура таких слов еще не знали, но суть разногласий между ним и Демокритом была именно в них. Дело в том, что согласно теории Демокрита траектории движения атомов определялись лишь силой тяжести и столкновениями друг с другом. Поскольку все состоит из атомов («Существуют лишь атомы и пустота», — констатировал Демокрит), а движение каждого атома подчиняется строгим законам, значит, им же подчиняется весь окружающий мир. Эпикур позволил себе усомниться в такой жесткой предопределенности мира. Смысл сомнений Эпикура выразил в своей известной поэме «О природе вещей» Лукреций Кар:

Если ж движения все непрерывную цепь образуют
И возникают одно из другого в известном порядке,
И коль не могут путем отклонения первоначала
Вызвать движений иных, разрушающих рока законы,
Чтобы причина не шла за причиную испокон века,
Как у созданий живых на земле не подвластная року,
Как и откуда, скажи, появилась свободная воля,
Что позволяет идти, куда каждого манит желанье,
И допускает менять направленье не в месте известном
И не в положенный срок, а согласно ума побуждению?
Ибо сомнения нет, что во всем этом каждому воля
Служит начальным толчком и по членам движенья проводит.

Эпикур пришел к выводу, что непрерывную цепь причин природа должна разрывать у самого основания: на атомном уровне. Атомам, утверждал Эпикур, присущи не только те движения, которые обусловлены действием силы их тяжести и взаимными столкновениями друг с другом, но и иные, спонтанные, то есть самопроизвольные, непредсказуемые и не подчиняющиеся никаким законам движения (Эпикур называл их *clinamen*), возникающие как бы «по внутренним побуждениям» самих атомов, отражающие присущую атомам «свободную волю». В спонтанных движениях атомов и заключается то самое «отклонение первоначала», избавляющее весь мир от действия

«рока законов», о котором говорит в своей поэме Лу-
креций Кар:

Если ж, как капли дождя, они вниз продолжали бы падать,
Не отклоняясь ничуть на пути в пустоте необъятной,
То никаких бы ни встреч, ни толчков у начал не рождалось,
И ничего никогда породить не могла бы природа.

Так из критики гениальной гипотезы Демокрита родилось не менее гениальное предвидение Эпикура: ведь более 20 веков спустя к подобному выводу пришли создатели квантовой физики де Бройль, Шредингер, Гейзенберг. Согласно квантовой теории поведение электронов и других частиц микромира имеет вероятностный, статистический характер. Движение частиц здесь описывается волновым уравнением Шредингера, которое говорит о том, что электрон как бы размазан, размыт по пространству. Нельзя сказать определенно (а можно лишь предполагать с некоторой вероятностью), где он находится в данное мгновение и где он окажется в следующий момент. О том же самом говорит и соотношение неопределенностей Гейзенберга: нельзя точно измерить координаты и импульс элементарной частицы. Если точно известен импульс, то в тайне содержится «место жительства» (координаты частицы). Если точно известны координаты, то неизвестен импульс, а значит, нельзя предвидеть, куда частица переместится в следующий момент.

Опять все та же непредсказуемая спонтанность, заложенная природой в самый фундамент материи и исключаящую какую бы то ни было программу («рока законы»), подчиняющую себе окружающий мир. Этой спонтанности, рождающейся на уровне мельчайших материальных частиц и обуславливающей весь процесс диалектического развития мира, большое значение придавал В. И. Ленин. Конспектируя лекции Гегеля по истории философии, в том месте, где речь шла о традиционных нападках на эпикуровскую идею спонтанных отклонений атомов, он сделал всего лишь одну коротенькую, но многозначительную пометку: «а электроны?»

И вся последующая история развития физики явилась развернутым ответом на этот короткий, но очень глубокий вопрос Ленина. Пока мельчайшей частицей материи считался атом, спонтанность «поведения» приписывалась ему. Затем обнаружили, что атом не является недели-

мым, а состоит из более мелких элементарных частиц. Атом распался, но непредсказуемая спонтанность осталась — она переместилась на уровень элементарных частиц. В самом фундаменте мира, в кирпичиках, из которых весь наш мир сложен, гнездится та самая непредсказуемая спонтанная энтропия, благодаря которой мир не повторяет, как механизм, одних и тех же движений, а обновляется, непрерывно рождая новые формы, в общем, ведет себя не как запрограммированный механический, а как диалектически развивающийся мир.

Надо заметить, что на протяжении всей истории развития науки идея изначальной спонтанности, заложенной в самый фундамент материального мира, вызывала ожесточенные споры.

«Ничего более позорного не может случиться с физиком», — сказал об Эпикуре Цицерон. Великий оратор хотел подчеркнуть, что физик должен стараться найти во всех явлениях строго причинные связи, а не вводить в теорию какие-то непонятные отклонения от траектории, возникающие без всяких причин. А много веков спустя примерно такую же точку зрения отстаивал великий Эйнштейн (который, кстати сказать, сам же и ввел впервые случайность в теоретические исследования поведения элементарных частиц). Полемизируя с Бором по поводу природы вероятностных законов квантовой физики, Эйнштейн заявил, что признание объективного характера этих законов было бы равносильно утверждению о том, что судьба мира зависит от количества случайно выпавших очков подбрасываемой самим господом богом игральной кости.

Но, несмотря на все попытки опровержения идеи спонтанности, она дожила со времен Эпикура до наших дней.

Был еще один античный мыслитель, который, размышляя о законах развития мира, в конце концов пришел к заключению, что в процессе развития обязательное участие принимают случайности. Имя его — Эмпедокл.

Согласно теории Эмпедокла в определенный период развития мира из земли начали вырастать отдельные органы и части тела животных: ноги, хвосты, глаза и т. д. Затем эти части стали случайным образом соединяться друг с другом. Так, например, возникли кентавры — существа с головой человека и с телом коня. На этой стадии развития мир изобилдовал чудовищными, нелепыми, нежизнеспособными существами, и неизвестно, что же в конце концов получилось бы из нашего мира, если бы

на следующем этапе его развития не вмешались противоборствующие силы — Любовь и Вражда. Вражда безжалостно уничтожала все неудачные комбинации (скажем, те существа, у которых глаза оказались на пятке). А все удачные и гармоничные комбинации («цельноприродные существа», если придерживаться терминологии самого Эмпедокла) взяла под свою защиту Любовь. В следующий период (четвертый, поскольку первым у Эмпедокла является общий хаос), спасенные существа приобрели признаки пола, и Любовь стала обучать их любви. С тех пор Любовь и Природа не допускают случайных возникновений живых существ путем комбинаций органов. «Цельноприродные» существа рождают себе подобных, на чем и зиждется окружающий мир.

Конечно, тому, кто знаком с теорией Дарвина, Эмпедокл покажется очень наивным, но нельзя не учитывать, что от Эмпедокла до Дарвина прошло более двух десятков веков! Если принять во внимание это немаловажное обстоятельство, то придется теорию Эмпедокла вместе с теорией Демокрита и других великих античных мыслителей отнести к числу гениальных творений ума. В самом деле, при всей курьезности и наивности созданной Эмпедоклом картины развития мира в ней присутствуют два важных фактора, подтвержденных всеми последующими научными данными: с одной стороны, метод проб и ошибок (случайные комбинации органов), а с другой — пусть далеко не «естественный» (как в теории Дарвина), а осуществляющийся по произволу Любви и Вражды, но все же отбор.

Еще раз подчеркнем, что в теории Эпикура и Эмпедокла важная роль принадлежала случайным факторам. Столь же важная роль сохранялась за ними и на последующих этапах развития научной мысли. Но вместе с тем во все последующие века, включая и современный, в науке не были изжиты взгляды, полностью исключающие объективную роль случайностей во всех явлениях мира.

ЗАПРОГРАММИРОВАННЫЙ МИР. ДИАЛЕКТИЧЕСКАЯ СПИРАЛЬ. НАУКА НА КОСТЫЛЯХ. БЕСПОЛЕЗНЫЕ КНИГИ. НЕ ПРОРОК, А УГАДЧИК. В ЧЕМ ВИНОВАТ НЬЮТОН? СТАТИСТИЧЕСКИЙ ФАТАЛИЗМ

Больше двух тысяч лет прошло с тех пор, как Эпикур и Лукреций высказались против детерминистских взглядов Демокрита. Но вопрос все еще оставался открытым. Начало прошлого века ознаменовалось возрождением демокритовских детерминистских идей. На этот раз в их защиту выступил выдающийся французский математик Лаплас.

К этому времени вероятностные методы уже завоевали себе прочное место и в математике и во всех связанных с математикой точных науках. Огромный вклад в развитие вероятностных методов сделал и сам Лаплас. И вместе с тем ученые относились к ним с определенным предубеждением, считая, что математику или физику приходится использовать вероятности лишь потому, что, приступая к расчетам, они не имеют исчерпывающего количества сведений (или всех, как они выражаются, исходных данных) о тех объектах или процессах, которые необходимо описать математическим языком. Будь эти сведения полными, думали сторонники детерминистских концепций, вероятности были бы никому не нужны. Это нам только кажется, что какое-то событие произошло случайно. На самом деле все, что случается в нашем мире, все события, начиная от катаклизмов мирового масштаба и кончая невидимым даже сквозь совершеннейший микроскоп перемещением элементарной частицы, предопределены (детерминированы) цепью жестко связанных, но не познанных нами причин.

Именно эту мысль попытался сформулировать Лаплас в своей знаменитой фразе о гипотетическом обширном уме, способном охватить все силы и все составные части природы и с помощью гипотетической формулы воскрешать все события прошлого и предсказывать без единой ошибки все, что будет происходить.

Этим высказыванием, многократно повторенным впоследствии и сторонниками и противниками детерминистских взглядов, Лаплас хотел подвести черту под длившимся тысячелетиями спором, провозгласив детерминированный, или, выражаясь более современным языком кибернетики, запрограммированный, мир.

Но подводить черту под какими-либо взглядами и идеями, считая их истинами в последней инстанции,— бесплодное и безнадежное дело, потому что траектория, по которой движется научная мысль, представляет собой не прямую линию, а открытую еще во времена Демокрита диалектическую спираль. Идеи, высказанные Лапласом,— это всего лишь одна из точек этой спирали, расположенная как раз над той точкой на низлежащем витке, которую оставил в науке Демокрит. Эпикур поднялся вверх по витку Демокрита. Лаплас вернулся к воззрениям Демокрита на новом более высоком витке. А спираль продолжает раскручиваться, поднимаясь все выше и выше... Кто-то должен будет опровергнуть те истины, которые так убежденно отстаивал Лаплас.

По мнению Лапласа, в математических описаниях явлений окружающего мира вероятности играют лишь временную, чисто вспомогательную роль.

По мнению сторонников детерминизма, по мере приобретения наукой недостающих сведений (или, что то же самое, по мере развития «обширного ума») вероятности должны быть постепенно изжиты, а всякая теория станет совершенной только в том случае, если она сможет давать не вероятностный, а абсолютно точный прогноз.

«Вероятностные представления,— пишет советский ученый А. С. Кравец,— утверждались в науке долго и мучительно. Довольно продолжительное время они не принимались всерьез в науке, считались временным костылем, которым пользуется наука за неимением лучшего. Ученые не оставляли надежд заменить в дальнейшем вероятностные законы на «истинные», как они думали, законы жесткой детерминации».

Рассеять подобные заблуждения помогают последние достижения современной науки. В частности, прибегнув, к помощи теории информации, можно довольно легко опровергнуть «теорию костыля».

Будем доказывать от противного: допустим, вслед за Лапласом, что вероятности появления букв в письменном тексте $p_A, p_B, p_V, \dots, p_Y$ понадобились только на начальной стадии статистических исследований языка. А когда все закономерности текста будут изучены досконально, «обширный ум» сможет отбросить в сторону все вероятности как отслужившие костыли и, твердо ступая окрепшими, выздоровевшими ногами, абсолютно точно предсказывать появление последующих букв.

Скажем так: взяли книгу, прочли кусочек первой страницы, уловили закономерность, составили алгоритм и дальше по этому алгоритму стали предсказывать все, что последует дальше. Позвольте, но в таком случае вообще не нужны книги! Достаточно напечатать кусочек первой страницы, а дальше, кто знает грамоту, сумеет составить и алгоритм! Вот так штука! Выходит, что для «обширного ума» все существующие и будущие книги — это тоже не более чем «временные костыли»!

Вполне логично: если «обширный ум» способен без посторонней помощи восстановить все прошлые и прозреть будущие состояния Вселенной, что нового сможет он почерпнуть из книг?!

Только вот беда: в книгах, тексты которых строятся по жесткому алгоритму, исключаящему случайность и неожиданность последующих букв, слов, фраз, авторских мыслей, можно описывать только жестко запрограммированный лапласовский мир.

Реальный диалектический мир не подчиняется алгоритму, каждое мгновение он порождает что-то непредвиденно новое, поэтому для описания развивающегося мира человечество создало непредсказуемый, недетерминированный язык. И в этом заключается великое счастье: скучно было бы читать книги, в которых можно все предсказать заранее; тоскливо было бы жить в мире, в котором с незапамятных времен все предначертано формулой, а в формуле ничего нельзя изменить. Против такого скучного мира восстал Пушкин, которому принадлежат следующие слова: «Не говорите, иначе нельзя было быть: коли было бы это правда, то историк был бы астроном, и события жизни человечества были бы предсказаны в календарях, как и затмения солнечные. Но провидение не алгебра. Ум человеческий, по простонародному выражению, не пророк, а угадчик, он видит окружающий общий ход вещей и может выводить из одного глубокие предположения, часто оправданные временем, но невозможно ему предвидеть случая — мощного мгновенного орудия провидения».

Эти слова Пушкина свидетельствуют о том, что в вопросе о соотношении стохастичности и детерминации в окружающем мире интуиция поэта оказалась сильнее, чем детерминистская логика, которой следовал математик Лаплас.

В свое время, размышляя над той же проблемой, Эпикур задался вопросом, какой же из двух миров лучше:

традиционный религиозный или тот, что представил себе Демокрит? И решил, что лучше было бы следовать мифу о богах, чем быть рабом неумолимых предопределений философов (физиков). И в самом деле «божественный мир» по крайней мере оставляет надежду на изменения к лучшему хотя бы путем «умилостивления богов». А в «мире физиков» (имеются в виду последователи Демокрита) все предопределено движением атомов, и нет такой силы, которая могла бы что-нибудь изменить в предначертаниях неумолимой судьбы.

Понадобились века, чтобы взамен мира богов и детерминированного движения атомов демокритовского мира наука начала постигать основанный на многих случайностях реальный диалектический мир.

В том, что в науке прошлого века возродились детерминистские взгляды Демокрита, больше всех виноват.. Исаак Ньютон.

Открытые им законы механики создали у современников иллюзию, что только этим законам подчиняется весь окружающий мир. Серия сделанных им блестящих открытий буквально протянула умы. Закон всемирного тяготения, которому подчиняются все тела Земли и Вселенной! Законы небесной механики, по которым можно предсказывать путь планет и светил! В конце XVII века английский ученый Галлей предсказал по законам небесной механики, что в 1759 году рядом с Землей должна пролетать комета. И вот в тот самый предсказанный Галлеем час комета прочертила ночное небо своим феерически пышным хвостом!

Почти сто лет спустя, осенним утром 1846 года, немецкий астроном Галле получил письмо от французского астронома Леверье. Леверье сообщал результат сделанных им сложных расчетов. Было давно замечено, что наблюдаемая траектория планеты Уран отличается от рассчитанной по законам Ньютона. Леверье показал, что причиной различий может служить другая планета, которой никто пока не наблюдал.

Галле с нетерпением ждал наступления вечера, приготовив для наблюдений свой телескоп. И — о, чудо! — в тот же вечер была открыта планета, впоследствии названная Нептуном, именно там, где предсказывали расчеты, сделанные Леверье!

Спустя 16 лет был обнаружен спутник звезды Сириус, предсказанный на основании законов Ньютона немецким

астрономом Бесселем в 1842 году. Ну как тут не уверовать во всемогущество законов Ньютона? Раз они действуют не только в масштабах Солнечной системы, но и в пределах Вселенной, можно ли сомневаться в том, что им подчиняется все, что есть на Земле!

И вот стали распространять их действие не только на физические тела, но и на живые организмы. Так возник механицизм. Вплоть до середины прошлого века, в сущности, редко кто задумывался о различиях между законами развития и механического движения — ученые, если можно так выразиться, на все вопросы развития попросту закрывали глаза.

Казалось вполне очевидным, что законы небесной механики утверждают неизменность движения светил и планет по одним и тем же орбитам. С живой природой получалось сложнее: ведь для всех очевидно, что организмы в течение жизни не сохраняют свои неизменные формы, а, напротив, меняются если не ежедневно, то уж во всяком случае из года в год. «Ну что ж, — рассуждали апологеты неизменного метафизического мира, — отдельные организмы действительно рождаются, развиваются, стареют и умирают. А вся живая природа? Ничуть не бывало! Из года в год она повторяет свои неизменные циклы: весной — пробуждение и зачатия, летом — рождение и созревание, осенью — увядание, зимой — накопление новых сил. И так год за годом. Ну чем не часовой (или, вернее, не годовой) механизм?!»

Карл Линней сделал важнейший шаг в изучении животного и растительного мира — разложил все виды живого «по полочкам» и ввел понятия видов, родов и т. д. Это была почти революция в биологии, но... сам же Линней сделал все, чтобы избежать революционных последствий, заявив, что новых видов в природе возникнуть не может, что виды эти всегда сохраняются постоянными, а потому предложенные Линнеем «полочки» классификации видов закреплены за этими видами от века и во веки веков. «Видов столько, сколько различных форм произвело вначале Бесконечное Существо», — констатировал Карл Линней.

Но вот на смену теориям, в основе которых лежит незыблемость и неизменность, приходят теории, объясняющие, как развивается мир.

За неизменным движением светил и их спутников Кант усматривает возможность рождения новых косми-

ческих образований и новых миров * Неизменность циклов живой природы не помешала Дарвину выявить тенденцию эволюционного совершенствования видов, расширив для этого рамки научных представлений о животном и растительном мирах за пределы жизненного опыта не только одного человека, но и всех поколений людей.

В начале прошлого века мир представлялся устойчивым и неизменным. К концу века он во всех своих сферах представился цепью нескончаемых перемен. Одних только законов механики было далеко не достаточно для исследований этих процессов. Вновь на повестку дня стал вопрос о роли случайностей в процессах развития мира: о случайной изменчивости в эволюции биологических видов, об участии энтропии в процессах образования из хаотически распыленных частиц космической пыли новых светил и новых планет.

Современная наука находит все новые и новые подтверждения того, что случайности неизбежны, что вероятностные описания многих явлений полностью адекватны их объективной вероятностной природе и никакими другими методами исследовать и описать их нельзя. Мы с вами много раз убеждались в том, что текст имеет объективно стохастический, вероятностный, случайный характер. Тем же свойством непредсказуемой стохастичности обладают изменения наследственных признаков, обусловленные случайными изменениями (мутациями) генов. Принципиально случайным является поведение всех элементарных частиц.

И вместе с тем, несмотря на многократное подтверждение объективности существования случайных явлений, в сознании многих современных ученых до сих пор не изжит лапласовский детерминизм. До чего же он оказался живучим! Нет-нет да и появится в слегка обновленном виде под покровом новых естественнонаучных, кибернетических и философских идей. Детерминированный лапласовский мир по-прежнему привлекателен для многих ученых: он оставляет надежду найти формулы, позволяющие предсказывать абсолютно точно, как потечет тот или иной процесс. Теория на то и теория, чтобы предсказывать однозначно и точно, а эксперимент должен предсказания под

* В 1755 году вышла в свет книга И. Канта «Всеобщая естественная история и теория неба», в которой была выдвинута «небулярная гипотеза» о происхождении небесных тел из раскаленных туманностей

твердить. Со времен Возрождения подобная психология воспитывалась и укоренялась в сознании естествоиспытателей. И вдруг оказывается, что в ряде случаев теория вообще не может давать однозначных ответов.

— Какая буква появится следом?

Теория информации отвечает:

— Может быть, «А» (с вероятностью 8 процентов), может быть, «Б» (с вероятностью 3 процента), а может быть, «В» (с вероятностью 5 процентов).

— Попадет ли электрон в данную точку пространства?

Квантовая физика отвечает:

— Может быть, да, а может быть, нет. Вероятность пребывания электрона в заданной точке пространства пропорциональна квадрату амплитуды шредингеровской пси-волны.

Вот и весь сказ. Никаких однозначных точных прогнозов, и никаких надежд когда-либо получить подобный прогноз. А мы-то думали, что наука хотя бы в принципе всемогуща, что если не сегодня, то завтра она сможет точно все предсказать!

Нет, не сможет. Невозможно, например, предсказать, кто погибнет в автомобильных катастрофах в ближайший месяц на дорогах Европы: мосье В., мосье М. или мосье Р. Можно лишь утверждать, основываясь на статистических данных, что в автомобильных катастрофах в течение месяца погибнет, вероятно, около N человек. Таков «статистический фатализм», но как бы он ни был печален, от фатализма Лапласа он отличается тем, что ни при каком количестве исходных данных не позволяет обрекать мосье В., мосье М. и мосье Р. на гибель. Это уже событие случайное, а случай на то и случай, что предвидеть его нельзя. Этим определяется ограниченность применимости статистических методов, непригодных, в частности, для истории, которой вовсе не безразлично, кто именно окажется в числе N пострадавших и какие последствия повлечет за собой его смерть.

Вместе с тем недалекая от исторической науки область — социология охотно и успешно прибегает к помощи вероятностных, статистических методов для выявления особенностей и тенденций общественного развития (спрос и предложение по различным профессиям; предпочтительная форма отдыха, посещаемость зрелищных или торговых организаций и т. п.)

Казалось бы, отдано кесарю кесарево и богу богово: ясно, в каких случаях можно ожидать от теории однозначных предсказаний, а в каких возможен лишь предположительный, вероятностный прогноз. И все-таки очень трудно расстаться навсегда с заманчиво детерминированным, полностью предсказуемым миром.

«Система Вселенной как единое целое такова, что смещение одного электрона на одну миллиардную долю сантиметра в некоторый момент времени может явиться причиной того, что через год человек будет убит обвалом в горах». Это сказал Тьюринг, один из творцов кибернетики — науки, появление которой в немалой степени было подготовлено теорией вероятностей! Не правда ли, его высказывание очень перекликается с тем, что утверждал Лаплас? Гибель человека предрешена смещением электрона, недостает лишь «обширного ума», который мог бы учесть это ничтожное смещение и предсказать по уравнениям, кого персонально ожидает неминуемая смерть от обвала в горах.

**«СВОЕВОЛИЕ» МИКРОЧАСТИЦ. О БЕС-
ПРИЧИННОМ ХАОСЕ. И ДА, И НЕТ.
СЕРАЯ ЛОГИКА МОЗГА. ЗАЧЕМ ПОНА-
ДОБИЛСЯ ШУМ? ПРАВО ВЕТО. ЭНТРО-
ПИЯ СПАСАЕТ МОЗГ. ШЕЯ ЖИРАФА.
ДОЛОЙ СЛУЧАЙНОСТИ. ГЕННАЯ ИН-
ЖЕНЕРИЯ**

Итак, с тех пор как физика приступила к изучению микромира, она сразу столкнулась со своеобразным «нравом» микрочастиц. Своеобразие это заключается в том, что их поведение не подчиняется формулам классической механики, позволяющим точно описывать траектории и однозначно предсказывать местонахождение частиц. Пропущенные через один и тот же кристалл и находящиеся в совершенно одинаковых условиях электроны ведут себя «своевольно»: не желают попадать в одну и ту же точку экрана, поставленного на их пути. Предсказать, где окажется электрон, можно лишь в вероятностной форме: вероятность попадания в данную точку экрана равна квадрату амплитуды волны, уравнение которой вывел Шредингер. Так возродилась на новом витке спирали высказанная Эпикуром идея о спонтанных отклонениях частиц.

Эпикур называл это свойство «свободой воли». Вспомнив об этом, современные идеалисты стали приписывать

свободу воли электрону и другим элементарным частицам. Дескать, частица без всяких внешних причин, а только по собственной воле и разумению выбирает себе траекторию и ту точку экрана, на которой она пожелает оставить светящийся след.

«Не знаем, как там насчет «желаний» и «воли», — рассуждают другие ученые, — но то, что в микромире не соблюдается принцип причинности — это уж факт. Один электрон попадает в одну точку экрана, другой точно такой же и в точно тех же условиях прилетает в другую точку. Без всяких на то причин!»

Чтобы опровергнуть подобные выводы, достаточно вспомнить игру в орла и решку, часто упоминаемую в книгах по теории вероятностей и столь же популярную среди подросткового населения довоенных московских дворов.

Давайте построим в воображении механизм для игры и заставим его подбрасывать монету. Как поведет себя монета?

Если монета обладает абсолютно строгой симметрией, то достаточно будет бесконечно малого приращения силы броска, чтобы монета совершила лишний переворот. Это значит, что для выпадения одних только орлов или одних только решек механизм должен быть абсолютно точным. А так как абсолютно точного механизма создать невозможно, монета будет вести себя так, как ей предписано теорией вероятностей.

Вероятности выпадения орла и решки для симметричной монеты одинаковы: $p_1 = p_2 = 1/2$.

Другое дело, если симметрия монеты нарушена: тут уж она непременно будет чаще падать на более тяжелую сторону, а p_1 уже не будет равно p_2 .

Этот пример позволяет нам сделать далеко идущие выводы: не надо искать причин, по которым те или иные явления совершаются с одинаковой вероятностью. Такова природа всех стохастических систем и явлений — они стремятся к равномерному распределению вероятностей, а это, как мы помним из предыдущей главы, и есть состояние с самой большой энтропией. Так ведут себя и монеты, и игральные кости, и молекулы помещенного в замкнутый объем газа, и даже мы с вами, когда, например, наугад выбираем лотерейный билет. Стоит лишь устранить все причины, нарушающие равномерность распределения вероятностей, и система неизбежно приходит к состоянию максимальной энтропии.

Равновероятное выпадение орла и решки обусловлено отсутствием асимметрии монеты, то есть отсутствием нарушающих эту равновероятность причин. Рассмотренное в предыдущей главе термодинамическое равновесие газа с равномерным распределением вероятностей скоростей и направлений движения всей массы молекул достигается опять-таки потому, что газ изолирован от нарушающих это состояние внешних причин. Точно так же и вероятностное поведение электронов и других элементарных частиц обусловлено тем, что нет в природе причин, заставляющих эти частицы двигаться по жестко заданной траектории. И наоборот, несчастные случаи на производстве происходят из-за отсутствия предотвращающих их причин, то есть из-за несоблюдения предусмотренных инструкциями правил.

Сопоставляя вероятностные методы с методами, применяемыми классической физикой, один из создателей квантовой физики Дирак писал: «В классическом смысле слова нельзя представить себе, что система находится частично в одном состоянии, а частично в другом... Здесь вводится совершенно новая идея, к которой надо привыкнуть».

Да, вероятностные описания и в самом деле имеют такой вот двойственный, противоречивый характер, электрон частично (с определенной вероятностью) находится в точке А и в то же самое время (с другой вероятностью) — в точке В.

Верно заметил Дирак: к этому надо привыкнуть. Но, называя эту идею новой, он не учел, что именно о ней писал Энгельс еще в то время, когда о квантовой физике никто даже не помышлял. Для метафизика, отмечал Энгельс, «какая-нибудь вещь, какое-нибудь отношение, какой-нибудь процесс либо случайны, либо необходимы, но не могут быть и тем и другим».

Диалектика к тем же самым явлениям подходит не с точки зрения «либо-либо», а с точки зрения «и-и».

Ведь главное утверждение диалектики как раз и заключается в том, что противоречивые, противоборствующие начала, совмещаясь в одном явлении, служат стимулом для развития. Диалектическое совмещение противоположностей в одном явлении нельзя анализировать с позиций детерминистской логики по принципу «либо-либо», потому что совмещение — это и есть «и-и».

Так вот оказывается, что и теория вероятностей в са-

мой основе своей диалектична, потому что ко всем исследуемым ею явлениям она подходит с той же самой меркой «и-и».

Случайно или необходимо выпадение орла или решки? И случайно, и необходимо. Каждый отдельный результат случаен. Но при многих бросках симметричной монеты необходимым становится выпадение в половине случаев вверх решкой, а в половине — вверх орлом.

Является ли случайным чередование букв и слов в письменном тексте? И да. И нет. В предыдущей главе было показано, что письменный текст детерминирован, но не полностью, а только на 80 процентов. Остальные 20 процентов — это непредсказуемая информация, заключающаяся в случайном чередовании букв.

Исследования нервных клеток коры больших полушарий мозга (нейронов) показали, что обработка информации мозгом осуществляется в основном не по принципу «либо-либо», а по принципу «и-и». Принцип «либо-либо» — это принцип двужначной логики, которая со времен Аристотеля, сформулировавшего основные ее правила, признает только два заключения: либо «да», либо «нет». По этому принципу строится логика электронной машины, все ячейки которой (диоды, транзисторы, магниты, реле) «знают» только два состояния: они либо закрыты, либо открыты. В открытом состоянии ячейка дает ответ «да», в закрытом — «нет».

А нейрон «устроен» иначе. Он имеет много отростков, связывающих его с другими нейронами, и в зависимости от комбинации и интенсивности приходящих сигналов нейрон может плавно варьировать свой ответ. Изменяться может и сила и частота посылаемых нейроном ответных сигналов. Специалисты по кибернетике предполагают, что тем самым усиливается или смягчается посылаемый данным нейроном ответ «да». Потому-то они считают, что логика ЭВМ — это «черно-белая» логика (либо черное «нет», либо белое «да»), а логика клеток мозга — «серая»: ответ может принимать любые промежуточные «оттенки» между белым «да» и черным «нет». Отсюда и возникают ответы по принципу «да, частично», или «и да, и нет». Мозг призван мыслить не метафизически, а диалектично — такой вывод вытекает из принципов обработки информации, которые использует человеческий мозг.

Это не значит, конечно, что из мыслительных операций нужно вовсе исключить детерминированную логику. Такая

логика — необходимый элемент любых рассуждений. На ней зиждется принцип построения программ электронных машин. Однако всегда надо помнить о том, что с позиций одной лишь двузначной «черно-белой» логики нельзя познать всесторонне наш сложный, «многоцветный», диалектический мир. Все попытки подобного рода приводили лишь к неудачам. Вот один наглядный пример.

Прежде чем была разработана и получила широкое признание эволюционная теория Дарвина, в течение многих лет велась непримиримая борьба двух направлений — теории преформизма и теории эпигенеза. Теория преформизма утверждала, что в процессе роста и развития каждого организма он не претерпевает никаких качественных изменений, потому что в оплодотворенной яйцеклетке уже существует в миниатюре весь будущий организм.

Сторонники теории эпигенеза, напротив, утверждали, что каждый организм в течение жизни заново вырабатывает все необходимые ему признаки с учетом тех конкретных условий, в которых данному организму пришлось развиваться. По этой теории получается, что накопление и передача потомству полезных признаков природе вроде бы и не нужны.

Типичный метафизический подход по принципу «либо-либо»! Существует ли изменчивость организмов? Теория эпигенеза дает ответ «да», теория преформизма дает ответ «нет». Оба ответа категоричны и однозначны и потому взаимно исключают друг друга.

Основанная Дарвином и развитая его последователями теория эволюции дает ответ типа «и да, и нет». Изменчивость есть, но не безграничная, а в определенных рамках (в пределах заложенной в генах «программы»), сохраняющих главные признаки биологических видов, по которым можно отличить лисицу от волка или галку от грача. В то же время предоставленных природой пределов изменчивости (мутаций) признаков организмов достаточно для того, чтобы обеспечить непрерывный эволюционный процесс. В этом как раз и заключается диалектическая природа эволюции, рассматриваемой со времен Дарвина как результат борьбы двух противоположных начал: тенденции к изменчивости и тенденции к сохранению основных признаков вида, которые несет в себе наследственный генетический код. Именно поэтому Энгельс считал теорию Дарвина одним из важнейших этапов становления диалектического метода в науке.

С тех же позиций «и-и» квантовая физика анализирует явления микромира. Одна частица может одновременно находиться *и* в одной *и* в другой точке пространства, потому что она является *и* частицей *и* в то же самое время волной. В отличие от Фигаро, который при всей своей расторопности все же не может оказаться *и* «здесь» *и* «там» одновременно, элементарные частицы «размазаны по пространству».

Для анализа подобных явлений пригодны лишь вероятностные методы, которые, как мы убедились, диалектичны в самой своей основе, поскольку позволяют любому явлению и быть (с вероятностью p) и не быть (с вероятностью $1-p$).

Если с высоты представлений сегодняшнего дня окинуть ретроспективным взглядом проделанный наукой долгий и сложный путь, можно сделать важный обобщающий вывод относительно тех явлений, в исследовании которых детерминистская логика проявляет бессилие и становится необходимым вероятностный подход.

Все физические законы, открытые на основе «чернобелой» логики и детерминированных математических правил, являются законами *сохранения* энергии, массы, импульса, траектории движения планет по орбитам и т. п.

Но коль скоро речь заходит об исследовании каких-либо *изменений* (превращение энергии из одной формы в другую, космогонические процессы образования новых планетных систем, развитие живых организмов, взаимные превращения элементарных частиц и т. д.), тут уж науке неизменно приходится обращаться к таким понятиям, как вероятность, энтропия, количество информации, то есть становится принципиально необходимым не детерминистский, а вероятностный подход.

Исходя из всего, что было сказано о вероятностном подходе, нетрудно объяснить эту связь. Процессы изменений, превращений, развития — это диалектические процессы. В их основе лежит не только закономерность, но и случайность. Не будь случайности, ничто бы не развивалось, не изменялось, не превращалось — существовал бы подчиняющийся навеки заданной всеобъемлющей программе детерминированный лапласовский мир. Вот почему исследование диалектических процессов развития требует обязательного привлечения теории вероятностей с ее диалектическим подходом к явлениям и неоднозначным оценкам типа «да, частично», «и да, и нет».

Казалось бы, все вопросы взаимосвязи вероятностных методов с диалектикой поставлены на повестку дня развитием таких областей современной науки, как квантовая физика, генетика, кибернетика и теория информации. Но вопросы эти, как ни трудно в это поверить, были подняты еще Аристотелем. И не только подняты, но и решены им, хотя, конечно, не во всех деталях, а в самых общих чертах.

Существуют два способа логического мышления, утверждал Аристотель в своей книге под названием «Топпика» (то есть «Общие принципы»). Первый способ мышления Аристотель назвал аподиктическим. Он основан на формальных законах логики и приводит к однозначным выводам, имеющим полную достоверность.

Второй способ Аристотель назвал диалектическим. При таком способе мышления все выводы имеют предположительный характер и потому часто противоречат друг другу.

Именно так и случилось через много веков после Аристотеля. Я имею в виду квантовую физику. Выводы ее имеют вероятностный характер и потому диалектически противоречат друг другу: одни рассуждения приводят физика к заключению, что электрон — частица, другие же не менее убедительно показывают, что электрон — это волна.

Диалектические свойства вероятностных методов проявились особенно ярко с появлением электронно-вычислительных машин. Вначале в этих машинах использовались только основанные на двузначной («черно-белой») логике детерминированные программы. И очень скоро ученые и инженеры пришли к выводу об ограниченных возможностях машин. Они способны с огромной скоростью решить великое множество уравнений. Но при этом должно непременно соблюдаться одно условие: число определяемых с помощью электронных машин неизвестных параметров не может превышать числа уравнений, заложенных в программы. Появилось одно «лишнее» неизвестное, и машина заходит в безысходный тупик. То ли дело свободное творчество человека! Нет точных решений — человек строит гипотезу или делает приблизительную прикидку. Или находит другой путь решения, какой-нибудь обходной маневр. Короче, человек может предполагать и проверять предположения, а построенная на двузначной логике машина способна лишь педантично и тупо следовать указаниям заложенных в нее детерминированных программ.

«Элементы современных электронных машин идиотски логичны», — сказал по этому поводу на одной из первых конференций кибернетик Шмидт.

Ученые стали искать пути приближения принципов «мышления» электронной машины к творческому, эвристическому мышлению человека (от известного восклицания «Эврика!», которым, согласно преданию, возвестил миру о своем новом открытии Архимед).

Средством, позволившим расширить «интеллектуальные возможности» электронной машины, оказался... шум. Да, представьте себе: самый обыкновенный шум. Впрочем, пожалуй, не очень обыкновенный: частоты, содержащиеся в используемых в ЭВМ шумовых сигналах, превышают наивысшую частоту слышимых звуков в тысячи раз. Так что ЭВМ питаются «неслышимым» шумом. Но суть не в частотах шума, а в том, для чего понадобился электронным машинам хаотический шумоподобный сигнал. Он обладает очень большой энтропией! Вот ее-то и не хватало машине, чтобы воскликнуть «Эврика!» и начать мыслить, как Архимед. То есть не по заложенным в программу канонам, а творчески, эвристически самостоятельно, «от себя».

Чтобы найти какое-то нестандартное, неожиданное, не предусмотренное изначальной программой решение, машине приходится в определенный момент нарушить железную логику своих рассуждений и начать действовать «наугад».

Например, электронной машине очень часто приходится решать такую задачу: надо обойти N беспорядочно разбросанных на плоскости точек самым коротким путем. Математики назвали эту проблему задачей коммивояжера: ему ведь всю жизнь приходится думать над тем, как с минимальной затратой времени и средств объехать намеченные города.

В технике подобных задач возникает великое множество. Чтобы повысить производительность и сократить расход материалов, приходится искать самый короткий путь соединения множества точек на электрических схемах. Чтобы сократить транспортные расходы, надо сократить путь доставки промышленных грузов. Чтобы сократить время механической обработки деталей, надо искать самый короткий путь перемещений сверла, фрезы или резца.

Для решения подобных задач обратились к помощи

электронной машины. Оказалось, что такие задачи целесообразно решать методом Монте Карло, получившим свое название по имени местечка в княжестве Монако, известного в мире благодаря обилию в нем игорных домов. ЭВМ уподобилась шаловливому школьнику: вместо того чтобы решать занудные уравнения, она стала «играть в рулетку», превращать шумовой сигнал в случайную последовательность чисел, затем подставлять их в уравнения вместо неизвестных x , y , z и оценивать полученный результат. При каких-то случайных числах результат улучшается (например, укорачивается путь, который должен совершить коммивояжер). При других — результат становится хуже. Бракуя числа, ухудшающие решения, и запоминая числа, приближающие к желанному результату, ЭВМ шаг за шагом «нащупывает» правильный путь.

С помощью детерминированных математических уравнений те же задачи или пришлось бы решать слишком долго (когда число неизвестных и соответственно число уравнений исчисляется десятками) или не удалось бы решить никогда (если число неизвестных превышает число уравнений).

Содержащаяся в шуме энтропия позволила усовершенствовать искусственный интеллект. Она вывела его за пределы узких формальных рамок и наделила способностью творческого решения нестандартных задач.

В который раз нам приходится отмечать созидательную роль энтропии! Не будь энтропии в машине, она была бы обречена решать только нетворческие задачи. Не будь энтропии в тексте, все книги превратились бы в надоедливое повторение азбучных истин. Не будь энтропии (мутаций) в генетическом коде, невозможна была бы эволюция животных и растительных видов. Не будь энтропии в природе, нас с вами угнетал бы своей неизменностью фатально подчиняющийся предначертанию неумолимого рока детерминированный лапласовский мир.

А впрочем, ничто бы нас тогда не угнетало! По той простой причине, что нас с вами тогда попросту не было бы. В «безэнтропийном» лапласовском мире никаких сложных систем (а ведь мы с вами довольно-таки сложные системы!) не могло бы ни возникнуть, ни существовать. Ибо, как доказано кибернетикой, случайный, стохастичный энтропийный характер внутрисистемных связей — необходимое условие надежности сложных систем.

Вот что пишет Клод Шеннон о надежности мозга:

«Мозг человека или животного может служить примером очень большой и относительно надежной системы, построенной из индивидуальных компонент (нейронов), которые ненадежны не только в выполнении операций, но и в тонких деталях взаимосвязи. Более того, хорошо известно, что при повреждении, несчастном случае или болезни мозг продолжает функционировать замечательно правильно, даже если поражены его большие области. Эти факты представляют сильный контраст по сравнению с поведением и организацией современных вычислительных машин. Индивидуальные элементы этих машин должны быть выполнены с чрезвычайной надежностью, каждый провод должен быть соединен нужным образом, и каждая команда в программе должна быть правильной».

Такова уж судьба любой детерминированной системы: вышел из строя один маленький винтик, и сложная большая машина превращается в мертвую грудку неподвижных деталей или более крупных, но не менее мертвых частей. Известный американский кибернетик У. Р. Эшби высказал по этому поводу весьма меткое замечание: в жестко детерминированных системах каждый из элементов обладает «правом вето» по отношению ко всем остальным.

Что же спасает мозг, когда болезнь или несчастный случай привели к поражению целых больших областей? Что помогает ему перестроиться, найти обходные пути, если порвался «провод», поправить любую ошибочную команду целой серией корректирующих команд? В чем секрет надежности этой ни с чем не сравнимой по своей сложности и совершенству системы, построенной из огромного множества (миллиарды!) нейронов, каждый из которых в любую секунду может дать «сбой»?

Секрет опять-таки в энтропии. Это она помогает мозгу и при нормальном режиме и в аварийной ситуации методом проб и ошибок найти правильное решение и получить оптимальный при сложившихся обстоятельствах результат.

Только при наличии гибких, недетерминированных (вероятностных) связей между элементами система приобретает возможность перестроить взаимодействие своих элементов, перераспределить их функции, если вышел из строя какой-нибудь элемент. Благодаря этому свойству существуют не только сложные организмы, но и вообще все живое.

Энтропийность — неотъемлемое качество всех живых организмов, проявляющееся и на уровне генов (в виде мутаций), и на уровне межклеточных связей, взаимодействия различных органов и т. д. Так же, как и в языке, количество существующих внутри организма детерминированных информационных связей существенно превышает количество связей случайных. Но наличие случайных связей принципиально необходимо: без стохастичности межклеточных связей организм лишился бы возможности адаптации к меняющимся внешним условиям, без стохастических мутаций генов прекратился бы созидательный эволюционный процесс. В этом аспекте становится особенно очевидной ошибочность основных установок противников генетической теории, по инициативе которых проходила дискуссия на сессии Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина (ВАСХНИЛ) в 1948 году.

Среди всех участников сессии, пожалуй, только два человека — академики И. И. Шмальгаузен и В. С. Немчинов — понимали, что спор о механизме наследственности есть, в сущности, спор об «энтропийных свойствах» живого.

Согласно генетической теории по наследству могут передаваться только те новые признаки организма, которые возникли в результате случайной изменчивости генов. Лишь спустя 20 лет после описанных событий, после того как была разработана теория информации и разгадан принцип генетического кода, стало ясно, что мутации — это и есть та самая недетерминированная, непредсказуемая энтропийная составляющая, которую заключает в себе ген. Слово «мутации» было повторено тысячекратно и сторонниками и противниками генетической теории наследственности, выступившими на сессии ВАСХНИЛ. Таким образом, главным предметом разгоревшейся на этой сессии дискуссии была скрывавшаяся под именем мутации энтропия.

Присутствовавшие на сессии биологи представляли собой два лагеря, стоявших на противоположных идейных позициях: одни из них отстаивали принципиальную роль мутаций в механизме наследственности, другие же полностью отрицали эту роль.

Противники генетики считали, что, изменяя условия в нужную сторону, можно довольно легко получить, передать по наследству и закрепить в потомстве именно те

полезные признаки, которые мы хотим получить. Стоит лишь вырастить несколько поколений пшеницы в условиях пониженной температуры, и сам собой образуется морозоустойчивый сорт. Или: уменьшая от поколения к поколению количество потребляемой растениями влаги, можно воспитывать засухоустойчивые сорта.

Изложенная доктрина — это не что иное, как возрождение отвергнутой Дарвином теории Ламарка, считавшего, что длинная шея жирафа образовалась потому, что многим поколениям жирафов приходилось тянуться к висящим высоко над землей плодам. Дарвин доказал, что приобретенные подобным образом признаки не передаются потомству. По наследству передаются только случайно возникшие признаки — вот в чем «гвоздь» теории Дарвина. Развивая и углубляя эту теорию, генетики пришли к выводу, что источником неопределенной изменчивости (так называл это явление Дарвин) являются случайные мутации генов.

Отрицая существование носителей наследственности — генов и в то же самое время провозглашая себя последовательными дарвинистами, противники генетики впадали в явное противоречие: на место дарвинизма они пытались поставить неоламаркизм.

В своей книге «Факторы эволюции» И. И. Шмальгаузен утверждал: «Возникновение отдельных мутаций имеет все признаки случайных явлений. Мы не можем ни предсказать, ни вызвать произвольно ту или иную мутацию». Сейчас под этими утверждениями подпишется каждый генетик. Они полностью подтверждаются достижениями генетики и кибернетики, точно соответствуют выводам, вытекающим из энтропийно-информационного анализа всех эволюционирующих систем.

Спустя много лет после выхода в свет упомянутой книги И. И. Шмальгаузена начала развиваться генная инженерия. Расшифровав генетический код, человек приобретает возможность вносить в него коррективы, путем сложных биохимических процессов изменять по своему усмотрению какую-то часть содержащихся в хромосомах молекулярных цепочек ДНК. В замененной части может содержаться новый наследственный признак, развитием которого человек решил управлять. Мы опускаем огромные трудности, связанные и с расшифровкой и с коррекциями «записей», содержащихся в гене. Вопрос ставится в принципе: можно ли наследственностью управлять? Да,

можно: либо путем отбора мутаций генов, либо с помощью генной инженерии. В первом случае мы предоставляем «творческую инициативу» природе, во втором берем ее на себя. Эта разница принципиальна. Если мы хотим управлять предсказуемо, тогда мы должны сначала спроектировать в воображении будущий новый признак или будущий организм. Тем самым мы исключаем роль мутации генов — все «мутации» происходят в нашем воображении, в процессе «вынашивания проекта», по которому мы хотим создать новый видовой признак или новый биологический вид. Но в любом случае не обойтись без мутаций, так как именно они позволяют методом проб и ошибок найти наиболее соответствующий условиям (оптимальный) вариант.

Все сказанное пока звучит как фантастика. И это естественно: ведь и в расшифровке наследственных кодов и в генной инженерии сделаны лишь самые первые шаги. Но шаги для науки принципиальные — они доказывают возможность решения этих проблем.

Надо заметить, что ни в ближайшем, ни в далеком будущем генная инженерия, по-видимому, не исключит влияния непредсказуемых мутаций генов, потому что, вводя новые «записи» в хромосому, нельзя предвидеть, как среагирует на это новшество ген.

Но все это — проблемы будущего. А на сегодняшний день мы не можем еще вносить любые коррективы в гены, поэтому нам приходится пользоваться результатами случайных мутаций. А тут уж волей-неволей надо мириться с тем, что мы не можем заранее их предсказать.

На начальном этапе развития квантовой физики сознание многих ученых бунтовало против необходимости отказаться от наглядных и привычных классических представлений и признать двуединую природу элементарных частиц, которые ведут себя то как частицы, то как волны. Этот период развития физики был подлинной «драмой идей». История энтропии еще в большей степени драматична. «Драма идей» здесь зачастую переходила в «драму людей». Именно таким поистине драматическим моментом было выступление детерминистской биологической школы против генетиков, отстаивавших открытую Дарвином энтропийную природу случайной (неопределенной) изменчивости, на которой зиждется любой созидательный эволюционный процесс.

Противники генетики попытались этот закон отменить.

Он показался им неудобным, поскольку признание факта непредсказуемости мутаций, по их мнению, равносильно признанию невозможности планомерной селекции новых сельскохозяйственных сортов.

Единственный способ «поладить» с природой — это терпеливое ее изучение. На основе скрупулезно добытых учеными фактов можно, конечно, строить планы последующих исследований, постепенного отбора и накапливания признаков полезных для сельского хозяйства или других хозяйственных областей. Но все подобные планы должны быть основаны на глубоком научном познании объективных законов природы, в них ни в коем случае не должен присутствовать какой бы то ни было волюнтаризм.



БРИТВА О ДВУХ ОСТРИЯХ. САМАЯ МУДРАЯ КНИГА. ТРАГЕДИЯ ДАРВИНА. ИСТОРИЧЕСКИЕ НОСЫ. ЯЗЫК, ВОЗНИКШИЙ САМ ПО СЕБЕ. КНИГИ НА КАМНЕ. ОЖИВШАЯ ИНФОРМАЦИЯ. МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ

В предыдущих главах я старался убедить читателя в том, что именно энтропия не позволяет нашему миру уподобиться раз и навсегда заведенному механизму, а нам с вами стать винтиками этого механизма, не вольными изменить что-либо ни в мире, ни в собственной предначертанной неумолимым роком судьбе.

И вместе с тем, отдавая вполне заслуженную дань энтропии, нельзя забывать о том, что мир, в котором энтропия приобрела бы неограниченную свободу, был бы ничуть не лучше, чем детерминированный лапласовский мир. В таком «энтропийном» мире постепенно перемешались бы все признаки видов: конь с петушиным гребнем мог бы родиться с такой же степенью вероятности, как и петух с конским хвостом. А если бы этот процесс продолжался и дальше, то в конце концов стало бы невозможным существование не только живых организмов, но и вообще каких-либо упорядоченных систем.

Энтропия необходима природе, но если превысить необходимые «дозы», она «перепутает» тот порядок, который миллиарды лет копил и сохранял наш мир. Энтропию можно сравнить с лезвием «безопасной» бритвы: оно, как известно, безопасно только в оправе, в станочке, а вне его одинаково опасны оба острия.

Одно «острие» энтропии — это чрезмерная детерминация. Мы уже знаем что в крайнем своем проявлении она приводит к тому, что системы лишаются возможности адаптироваться в изменяющихся условиях.

Другое острие — «перебор» энтропии, перемешивание букв или признаков, бессмысленные тексты, общий хаос и ералаш. Чтобы «обуздать» энтропию, природа научилась копить информацию, вырабатывать правила формирования структуры разнообразных систем. Чтобы ограничить «своеволие» элементарных частиц, природа «предусмотрела» множество детерминирующих их движение правил, названных физиками «спинами», «странностями», «четностями» и т. п.

Правила, направляющие развитие биологических видов и запрещающие появление жеребят с петушиными гребнями и цыплят с лисьими или беличьими хвостами природа зашифровала сложным генетическим кодом, расшифровка которого стала одним из главных научных достижений нашего века. Но, отдавая должное успехам генетики, нельзя забывать о том, что в той мудрейшей из книг, в которую природа записывает все свои достижения, все свойства живого, наука пока освоила только азбуку и научилась читать лишь первые самые простые слова...

В микроскопической половой клетке природа сумела уместить невероятную по объему информацию. Расшифровка письменности древнего племени Майя, в сущности,— детская забава по сравнению с расшифровкой в полном объеме этой информации, иначе говоря, генетической программы построения и функционирования будущего организма.

Так обстоит дело сейчас, когда эту тайну природы наука штурмует широким фронтом. В числе штурмующих — генетики, биохимики, математики, физики, кибернетики, специалисты по теории информации и теории систем. А каково же было ученым, пытавшимся решать ту же проблему более 100 лет назад!

Невольно приходит на ум трагедия Дарвина, омрачившая его последние дни.

Как-то не вяжется с именем Дарвина мрачное слово «трагедия». Жизнь ученого, наполненная до краев упорным исследовательским трудом, принесшим автору мировое признание и вечную славу. Казалось бы, в такой жизни не должно быть места для резких поворотов и неожиданных катастроф. Да их и не было, если рассматривать только внешнюю сторону дарвиновской жизни. Катастрофа, которую пришлось пережить ему на склоне лет, относилась к категории, названной позднее «драмой идей».

Виновницей трагедии была опять-таки энтропия, точнее, убеждение в ее всемогуществе, укоренившееся в сознании и самого ученого и его оппонентов. Хотя ни сам Дарвин, ни его противники слова «энтропия» ни разу не употребили.

В представлениях нашего современника имя Дарвина справедливо ассоциируется с грандиозным научным успехом. Первый тираж его знаменитой книги «Происхождение видов» был раскуплен за один день. Труд его жизни

стал научной сенсацией, обсуждение теории распространилось далеко за пределы научных кругов. Было у него немало противников (особенно среди представителей духовенства), но голоса их тонули в мощном хоре горячих похвал.

Куда уж, казалось, больше! Труд, которому Дарвин посвятил всю свою жизнь, поднят на щит всеми передовыми учеными. Автору остается заняться детализацией некоторых положений теории и пожинать на склоне лет ее многочисленные плоды.

Но на деле вышло иначе. Последние годы жизни великого естествоиспытателя были полны разочарований и сомнений. Причиной тому была статья инженера Флеминга Дженкина, который для опровержения эволюционной теории привел довольно простой расчет.

Допустим, рассуждал Дженкин, в результате неопределенной изменчивости организм приобрел новый признак. У потомка он будет «разбавлен» ровно наполовину, поскольку у второго родителя подобный признак отсутствует. (Вероятность того, что одинаковый признак случайно возник и у отца и у матери, ничтожно мала.) Внукам достанется четверть признака, правнукам — одна восьмая и т. д. Ясно, что через несколько поколений случайно возникший у одной из особей новый признак должен свестись на нет. Как же тогда реализуется одно из главных положений эволюционной теории — наследование и закрепление в потомстве новых признаков биологических видов?

Дарвин не смог ответить на этот вопрос. Целых два десятилетия он не публиковал своей вполне завершенной теории, проверяя и перепроверяя ее до мелочей. И вот теперь, когда тщательно проверенная и сопоставленная с десятками тысяч эмпирических фактов теория опубликована и признана, против самого фундамента ее выдвинут неопровержимый (как казалось в то время ее творцу), обоснованный простыми расчетами Дженкина аргумент.

Статья Дженкина была для Дарвина настоящим ударом, особенно тяжелым в силу его щепетильности и добросовестности — весьма уязвимых человеческих черт. Подчеркивая добросовестность Дарвина, ставшую в науке почти легендарной, Энгельс писал: «Как велик чрезвычайно скромный Дарвин, который не только сопоставляет, группирует и подвергает обработке тысячи фактов из всей биологии, но и с радостью упоминает

о каждом из своих предшественников, как бы незначителен он ни был, даже и тогда, когда это умаляет его собственную славу».

В 1858 году палеонтолог А. Уоллес написал очерк «О стремлении разновидностей бесконечно уклоняться от первоначального типа». Уоллес отметил, что важную роль в биологической эволюции играет естественный отбор.

В рукописях Дарвина та же самая мысль была сформулирована за 16 лет до того, как ее высказал А. Уоллес. И опубликуй Дарвин свой труд раньше, никаких проблем приоритетного характера не было бы и в помине.

Когда с острова Целебес, где находился А. Уоллес, пришло письмо с написанным А. Уоллесом очерком, Дарвин решил объявить во всеуслышание, что А. Уоллес открыл естественный отбор. Коллеги Дарвина Д. Гукер и Ч. Лайель воспротивились этому альтруизму. На заседании Линнеевского общества, состоявшемся 1 июня 1858 года, Д. Гукер и Ч. Лайель доложили о работе А. Уоллеса и сопоставили содержащиеся в ней выводы с тем, что было написано Дарвином еще в 1844 году. Приоритет Дарвина ни у кого не вызвал сомнений. И все-таки по настоянию Дарвина имя Уоллеса было поставлено рядом с его собственным именем в одной из основополагающих для эволюционной теории работ. Так появилась в печати статья Ч. Дарвина и А. Уоллеса под названием «О стремлении видов образовывать разновидности и сохранении разновидностей и видов естественными способами отбора».

20 лет вынашивал и проверял Дарвин свои идеи, прежде чем сделать их достоянием гласности. 20 лет ежедневного, напряженного, целенаправленного труда! Для здоровья ученого не прошло бесследно нелегкое путешествие на «Бигле», предпринятое с целью наблюдений животного мира различных стран. Почувствовав недомогания, мешающие работе, он решил компенсировать дефицит времени аскетизмом: он запретил себе интересоваться искусством, хотя в письмах к друзьям неоднократно высказывал по этому поводу сожаление, признавая, что искусство могло бы сделать его жизнь намного красочней и полней.

«Я почти потерял прежний вкус к живописи и музыке,— писал в автобиографии Дарвин.— Музыка, вместо того, чтобы доставлять удовольствие, обыкновенно только за-

ставляет меня еще усиленное думать о том, чем я занимался. Сохранил я еще прежний вкус к живописным картинам природы, но и они уже не доставляют мне того высокого наслаждения, как бывало.

... Ум мой превратился в какой-то механизм, перемазывающий большие коллекции фактов в общие законы, но почему эта способность вызвала атрофирование только той части мозга, от которой зависят высшие эстетические вкусы, я не могу понять. Человек с более высоко организованным умом, я полагаю, не пострадал бы, как я, и если бы мне пришлось второй раз пережить свою жизнь, я бы поставил себе за правило читать поэтические произведения и слушать музыку хоть раз в неделю, таким образом части моего мозга, теперь атрофировавшиеся, сохранили бы свою живучесть. Утрата этих вкусов представляет утрату известной доли счастья и, может быть, вредно отражается на умственных способностях, а еще вероятнее на нравственном характере, так как ослабляет эмоциональную сторону нашей природы.

Как много выиграла бы наука, если бы все ученые, чей вклад составил хотя бы малую толику того, что дал науке Дарвин, были бы столь же скромного мнения относительно своего «высоко организованного ума»!

И вот в самом конце этой полной трудов и самоотреченности жизни судьба преподносит Дарвину незаслуженный и жестокий сюрприз. В насмешливом тоне Дженкин обвинил Дарвина в том, что в подтверждение своей теории отбора полезных признаков Дарвин якобы выдумал «вереницы предков, существование которых ничем не доказано», а для подтверждения роли борьбы за существование в процессе естественного отбора «выставил против них армию воображаемых врагов». «При таких способностях,— продолжал иронизировать Дженкин,— можно изобрести какие угодно организмы». Он упрекал Дарвина также и в том, что он «растянул прошлое до бесконечности», дабы бесчисленные поколения успевали по крохам накапливать все полезные признаки, которые мы обнаруживаем у современных видов животных*. «Хорошая на-

* Незадолго до Дженкина против теории Дарвина выступил известный физик Уильям Томсон, по подсчетам которого жизнь на Земле существует не более 30 миллионов лет, поэтому весь процесс эволюции млекопитающих происходит в течение тысяч поколений и должен бы был завершаться на наших глазах. По современным оценкам возраст биосферы Земли составляет около 3,5 миллиарда лет

смешка», — констатировал Дарвин, читая эти язвительные нападки в свой адрес, и эта горестная ремарка сохранена историей в виде пометки Дарвина на полях страницы журнала «Нозен бритиш ревю», в котором была опубликована статья Дженкина.

В столь же язвительном тоне Дженкин преподносил создателю теории эволюции и главный свой довод:

«Чувствуя трудность иметь дело с противником со столь обширной фантазией, доверимся таким аргументам, которые он по крайней мере не сможет разбить простыми усилиями воображения». И далее следовало рассуждение о неизбежном «растворении» вновь возникшего признака в результате многократного скрещивания при смене поколений.

«Кошмаром Дженкина» называли впоследствии этот печальный для Дарвина финальный этап его жизни. Так он и умер, унося в душе неверие в правоту созданной им теории и не подозревая, что главный аргумент Дженкина уже опровергнут чешским монахом Грегором Менделем, о трудах которого Дарвину так и не довелось узнать до конца своих дней.

Если бы Менделю довелось вступить в полемику с Дженкиным, он мог бы возразить ему приблизительно так.

Наследственные признаки, передаваемые с помощью половых клеток, не растворяются в потомстве, как сахар в теплой воде. Существуют дискретные носители признаков, которые в тех или иных сочетаниях проявляют себя в потомстве, поэтому при многократном скрещивании растений, отличающихся, скажем, окраской лепестков их соцветий (например, с красным и белым цветом лепестков), через несколько поколений можно обнаружить не промежуточный (розовый), а все тот же исходный красный и белый цвет.

Это общее свойство живого Мендель установил путем скрещивания разных сортов гороха. Он брал экземпляры с зеленым и желтым цветом горошин и убеждался, что после двухкратного скрещивания цвет горошин остается все тем же, а соотношение количеств потомков с желтыми и зелеными горошинами равно 1 3.

Это соотношение является фундаментальным открытием Менделя, положившим начало исследованиям наследственных свойств.

Существуют два вида признаков: доминантные (обо-

значим их сокращенно буквой Д) и рецессивные (сокращенно — Р).

Если один из родителей обладает признаком доминантным (Д), а второй — рецессивным (Р), то у потомка проявится доминантный признак, который как бы подавит более слабый признак Р:

$$Д + Р = Д,$$

$$Р + Д = Д.$$

В опытах Менделя доминантным признаком был зеленый цвет горошин. Он содержится в двух спаренных хромосомах (обозначим «сдвоенный» признак через ДД). В других половых клетках содержатся сдвоенные рецессивные признаки (условно РР). В результате деления хромосом (мейоза) и скрещивания в потомстве первого поколения будут возникать комбинации признаков вида Д + Р, которые внешне проявят себя доминирующим признаком Д. Именно поэтому после первого скрещивания все горошины в опытах Менделя имели зеленый цвет.

Вместе с тем в сдвоенных хромосомах половых клеток первого поколения появляются комбинированные признаки типа ДР. Разделяясь и скрещиваясь друг с другом, во втором поколении они дадут все возможные комбинации: и Д + Р, и Р + Д, и Д + Д, и Р + Р.

В результате подавления признаков Р признаками Д унаследованные от отца и матери признаки у потомков второго поколения проявятся так:

Мать	Отец	Потомок
Д	Р	Д
Р	Д	Д
Д	Д	Д
Р	Р	Р

Взглянув на третью колонку таблицы, легко убедиться, что доминирующий признак будет встречаться в потомстве в три раза чаще, чем рецессивный. Отсюда и вытекает открытое Менделем соотношение признаков

$$\frac{Р}{Д} = \frac{1}{3}.$$

Основная ошибка Дженкина заключалась в том, что законы наследственности он рассматривал с позиций всепобеждающей энтропии, хотя о самой энтропии он мог в то время вовсе не знать. Ему казалось бесспорным, что

признаки должны смешиваться в потомстве, как молекулы двух разных жидкостей или газов, помещенных в один сосуд. Механическое перемешивание молекул жидкостей белого и красного цвета в самом деле даст в результате промежуточный розовый цвет. Но в природе не все протекает так просто. Даже простая химическая реакция жидкостей может родить новую информацию — обладающее неожиданным новым цветом и другими новыми признаками вещество. Полезная информация, появившаяся в результате случайных мутаций, не должна «растворяться» в будущих поколениях. Признаки не должны перемешиваться друг с другом, чтобы на свет не появлялись такие экзотические уродцы, как лошадь с петушиными перьями или птица с волосатым хвостом.

Чтобы поставить заслон энтропии, природа «предусмотрела» множество мер. Она запретила скрещивание не сходных между собой биологических видов. Она создала рецессивные и доминантные признаки и «изобрела» для их передачи потомству сложный генетический код.

За 100 с лишним лет, прошедших с тех пор, как были опубликованы классические труды Дарвина, статья Дженкина и результаты опытов Менделя, наукой сделано много новых открытий. Но от этого проблема эволюции биологических видов не прояснилась, а усложнилась, механизм возникновения, наследования и отбора новых признаков вызывает, пожалуй, еще больше недоуменных вопросов, чем 100 лет назад.

Выступая в защиту теории Дарвина, К. А. Тимирязев опровергал вывод Дженкина о неизбежности «растворения» вновь возникающих признаков в потомстве с помощью простых и наглядных примеров.

«Я указывал, — писал Тимирязев, — что при одном шестипалом родителе не получатся дети с $5\frac{1}{2}$ пальца... Я указывал, наконец, как на самый наглядный пример (выводивший из себя моих противников) на нос Бурбонов, сохранившийся у герцога Немурского, несмотря на то, что в его жилах течет всего $\frac{1}{128}$ крови Генриха IV»*.

Тимирязев считал, что на основании опытов Менделя «кошмар Дженкина, испортивший столько крови Дарвину, рассеивается без следа».

* Герцог Немурский был потомком Генриха IV в 7-м поколении. В каждом поколении кровь Бурбонов смешивалась пополам с кровью других аристократических семейств, поэтому 7-му прямому потомку Бурбонов досталась лишь $(\frac{1}{2})^7 = \frac{1}{128}$ часть.

На определенном этапе развития науки этот вывод казался неоспоримым. Но новые достижения науки рожают новые взгляды, а вместе с ними и множество новых проблем.

Неправота Дженкина очевидна до тех пор, пока речь идет о наследовании одного признака от одного предка. Современные теоретики эволюции утверждают, что полезными (а следовательно, и подверженными естественному отбору) являются не отдельные признаки, а сложные совокупности, принадлежащие множеству организмов (популяции).

В самом деле, какая польза от вошедшей в историю выдающейся формы носов потомков Бурбонов и во имя какой выгоды стал бы сохранять ее для потомков отбор? И хотя вопреки утверждениям Дженкина этот характерный внешний признак Бурбонов не растворился при смене 7 поколений, он в то же время не стал началом формирования нового «вида» (народности, нации) людей. Наоборот, помимо герцога Немурского, сохранившего нос Бурбонов в своей $1/128$ доле унаследованных признаков, доставшихся ему после смены 7 поколений, за это время родились еще сотни праправнуков Генриха IV с самой что ни на есть заурядной формой носа. И если один признак действительно не растворяется, а целиком передается потомкам, то совокупности признаков, содержащиеся во множестве генов, неизбежно перемешиваются в потомстве, поэтому хотя в 7-м поколении и появится потомок с носом Генриха IV, но вряд ли можно ожидать, что в каком-нибудь поколении вдруг возродится вся совокупность черт этого зафиксированного живописцами исторического лица.

И если считать, что каждый из признаков возникает случайно и случайным образом перемешиваются совокупности признаков у последующих поколений, то становится вообще непонятным, каким образом может сохранять и накапливать полезные совокупности естественный отбор. По всей видимости, появляющиеся в результате мутаций признаки не являются «чисто случайными», как не могут быть «чисто случайными» используемые авторами оригинальных научных или художественных текстов новые комбинации слов и букв.

При написании текстов авторы могут варьировать комбинации применяемых слогов и слов только в пределах существующих фонетических и грамматических правил.

В процессе мутаций природа тоже установила для энтропии определенные рамки, и, подобно тому как буквы «вплетены» в несущие смысловую нагрузку слова и фразы, каждый вновь возникающий признак взаимосвязан с целым комплексом одновременно изменяющихся признаков и свойств. Изменениям подвержены не отдельные гены, а целые совокупности взаимосвязанных генов, и единственный путь к познанию сложных наследственных механизмов заключается в том, чтобы научиться читать те «записи», которые заключает в себе наследственный генетический код.

Расшифровав азбуку генетического кода, ученые обнаружили, что он построен по принципу всех письменных текстов. Есть алфавит, включающий в себя четыре буквы, роль которых выполняют четыре различные химические соединения (генетики называют их нуклеотидами): аденин — А; гуанин — Г; тимин — Т; цитозин — Ц. Из четырех букв алфавита можно составить 64 трехбуквенных слова типа ААА, ААГ, ТЦГ и т. д. Слова этого лексикона соответствуют «названиям» аминокислот*. Каждое слово кода — это команда к включению одной из аминокислот в процесс синтеза белков, образующих ткани живых организмов. Таким образом, структура всех живых тканей и организмов содержится в структуре генетических фраз.

Все, что сказано о буквах, словах и фразах генетических кодов, — это не просто образное сравнение, а краткое изложение принципа построения языка, на котором природа «пишет свои завещания» — все то, что положено организмам (включая и нас с вами) получать по наследству от предков.

В общем, приходится согласиться с тем удивительным фактом, что такая «письменность» была «изобретена» природой за много миллиардов лет до появления людей.

* Слово «название» взято в кавычки, потому что те названия аминокислот, которыми пользуются биохимики, не похожи на те «названия», которые «присвоила» им природа. Например, глутаминовая кислота кодируется в ДНК генетическим словом АЦТ, аргинин — АГЦ, тирозин — ААТ и т. п. При транскрипции этих слов из ДНК в РНК слово АЦТ перекодируется в слово УГА (где У — урацил), слово АГЦ перекодируется в УЦГ и т. д. Из 64 слов генетического словаря 61 слово соответствует аминокислотам, так как несколькими разными трехбуквенными сочетаниями (триплетами) кодируется одна из 20 аминокислот. Остальные три слова служат командами окончания процесса синтеза белков.

Не люди придумали информацию. Информацией их снабжает природа. Человек изобрел только способы получения информации и ее обработки, создав с этой целью великое множество языков.

Остается только понять, откуда берется та информация, которая сама по себе, без нашего ведома и согласия возникает в природе, и научиться читать тексты, зашифрованные природой, так же легко и свободно, как сообщения на страницах газет.

Решение всякой научной проблемы должно начинаться с самых азов. Азами генетических текстов являются 4 кодона. Но как мог возникнуть в природе такой «продуманный» и совершенный язык? Откуда взялась информация для «конструирования» первых живых клеток? Является ли информация достоянием только живой материи или носителями информации могут быть атомы, молекулы, неорганические вещества?

Из полупроводниковых, ферромагнитных или оптических кристаллов можно создать ячейки искусственной памяти, счетные и логические схемы электронных машин.

Может быть, кристаллы способны хранить и обрабатывать информацию не только в специально созданных человеком устройствах?

В самом деле, вокруг опущенного в раствор кристалла возникают точно такие же по форме и по структуре кристаллы, так, словно он передает молекулам жидкости некий сигнал. Чем такая передача информации отличается от обмена сигналами между кристаллическими ячейками электронных машин или от информации, которую мы черпаем из книг и газет?

Все эти вопросы возникли после создания вычислительной техники, кибернетики и теории информации. К «информационному взрыву» человечество вел долгий нелегкий путь.

На всех этапах своего становления человек неуклонно овладевал информацией. Сначала в виде первых членораздельных звуков, которыми первобытные люди обменивались друг с другом, чтобы предупредить соплеменников об опасности, поделиться радостью или подать боевой сигнал. Затем в форме наскальных рисунков, изображающих эпизоды из жизни. И лишь значительно позже возникла письменность, дошедшая до нас благодаря долговечности камня, выполнявшего роль страниц первобытных книг.

Потом появились папирусы, рукописные книги и, наконец, предназначенные для передачи и хранения информации технические средства — печатный станок, звукозапись, фотография, телеграф, телефон, радио, кинематограф, телевидение, искусственная память и схемы обработки информации электронными машинами.

Обратите внимание, как с каждым новым техническим изобретением сохраняемая информация становилась все «живей» и «живей».

Изобретенный Эдисоном фонограф позволил «оживлять» человеческий голос и звуки музыки, будь то отдельный инструмент или целый оркестр. А когда это изобретение воссоединилось с изобретенным братьями Люмьер синемаграфом, родилось одно из самых емких, универсальных средств сохранения «живой» информации — звуковое кино.

Предрекая соединение синемаграф и фонограф и приветствуя эту «новую победу над бесконечными таинствами природы», выдающийся искусствовед прошлого века В. В. Стасов писал: «...какие счастливые будущие поколения — они будут видеть, слышать, знать, точно осязать глазами и слухом своих прежних великих людей... Будущие Рубинштейны и Листы не исчезнут бесследно со своими несравненными тонами и звуками на фортепьяно. Будущие Герцены, Гоголи и Грибоедовы будут перед глазами и воображением каждого и везде».

Успехи, достигнутые наукой и техникой, породили у человечества излишнее самомнение: людям стало казаться, что вся существующая вокруг них информация — дело только их разума и их рук.

Естественно, что без желания автора не появится новая книга, без усилий режиссера и оператора не возникнет сам по себе кинокадр. В электронных машинах возникло новое качество: хотя начальная информация заложена в них опять-таки человеком, но живет она уже сама по себе. Оператор не может предречь заранее, в каком виде вернет ему информацию электронно-вычислительная машина, иначе не было бы смысла в создании и использовании подобных машин.

А в организме животных? А в клетке? Разве в них информация не живет самостоятельно, то есть независимо от воли и желаний людей? Ответ на этот вопрос дала кибернетика. Да, есть много общего в процессах переработки и накопления информации в клетках живых орга-

низмов и в цепях электронных машин. Потому что информация появилась в природе до электронных машин, до человека, до... До чего? Откуда взялась первая информация? Откуда черпал ее простейший одноклеточный организм? Существовала ли информация, когда не было на Земле живых клеток? Можно ли называть информацией те воздействия, которые оказывают на структуру намагниченных или поляризуемых кристаллов магнитные и электрические поля? Если да, то что общего между такой информацией и сообщениями, передаваемыми по телеграфу и радио или получаемыми из книг, журналов, газет? А если общего нет, то зачем называть «информацией» совершенно разные вещи и измерять их с помощью одинаковых единиц?

Чтобы разобраться в этом множестве недоуменных вопросов, рассмотрим снова тот же пример.

Человек нечаянно прикоснулся к горячему чайнику и отдернул руку раньше, чем осознал боль. Такое движение называется рефлекторным. Тысячи импульсов, переданных по нервным волокнам, заставляют двигаться мышцы плеча, предплечья, локтевого и лучевого суставов, кисти и пальцев руки.

Модель этого строго согласованного движения мышц хранится в нервных тканях, поэтому единственного сигнала о прикосновении к горячему телу оказывается достаточно для приведения в действие сотен и тысяч необходимых команд.

Точно так же передавая информацию с пульта управления, мы посылаем закодированную в определенной последовательности импульсов модель движения всех многочисленных органов автоматического станка. Количество потребляемой этим станком энергии зависит от интенсивности движения его органов, то есть от массы и скорости всех его подвижных частей. Количество потребляемой этим станком информации определяется сложностью производимых им операций, порядком согласований (по скорости, направлениям) и чередований движения всех его органов и узлов. Молот в несколько тысяч тонн может быть приведен в действие одним импульсом информации. Искусственные руки робота, умеющие взять со стола и соединить друг с другом две крошечные детали, требуют для своего управления заранее разработанных моделей движения, состоящих из сотен тысяч команд.

Человек научился хранить модели движения и в ис-

кусственной (электронной, магнитной, оптической) памяти, и на пленках (магнитных, светочувствительных), и на страницах газет, журналов и книг. Законсервированное в моделях движение может не использоваться десятки, сотни и тысячи лет.

«Оживив» модели движения, сохраняемые в тексте, человек одновременно приводит в действие и те модели движения, которые хранит его мозг. Так возникают модели самых разнообразных событий, пережитых или придуманных автором и донесенных им до читателей его книг.

Нечто подобное происходит в природе. Половая клетка несет в себе ту модель движения, по которой будет впоследствии развиваться вновь зарождаемый организм. С помощью электрических и магнитных полей помещенный в расплав кристалл передает модель движения молекулам жидкости, заставляя их «лепить» по этой модели новый точно такой же кристалл.

Существует мнение, что первая информация появилась на Земле вместе с рождением жизни. Однако в сложном процессе формирования белковых соединений и клеток нельзя провести четкую грань между «живым» и «неживым». Известный современный биохимик, лауреат Нобелевской премии М. Эйген исследовал механизмы образования макромолекул белков и пришел к заключению, что только благодаря участию информации в этих процессах могут самопроизвольно возникать те сложные цепочки и связи, из которых состоит основной материал живых клеток — белок. «Кирпичиками» всех белковых соединений являются полипептиды. Американские ученые Дж. Лоулесс и Н. Леви исследовали процессы образования полипептидов из растворенных в воде аминокислот и установили, что катализаторами, способствующими формированию полипептидов, служат неорганические вещества — силикаты, содержащиеся в определенных сортах глины. Вот, оказывается, как выглядит «информационный мост», по которому модели движения передаются от неживого к живому: неорганические молекулы силикатов уступают свое место более сложным молекулярным соединениям, заимствованным у аминокислот. Сохраняющийся при этом «костяк» структуры силикатов служит моделью движения для молекул вновь образующихся белков.

Согласно библейской легенде бог сотворил Адама из глины. Но оказывается, не только в мифическом сотворении Адама, но и в реальном возникновении всех зем-

ных тварей глине и в самом деле принадлежит далеко не последняя роль!

Другим примером передачи информации от неживого к живому могут служить некоторые формы вирусов, способных кристаллизоваться при неблагоприятных условиях и вновь оживать при изменении внешней среды. В стадии кристаллизации вирусы сохраняют в себе все модели движения, которые будут приведены в действие, когда вирус снова станет живым.

Модели движения в самых разнообразных формах множатся и сохраняются в структуре различных материальных систем. Несмотря на различие кодов, функция информации всюду одина. Используя множество языков, все существующие в мире развивающиеся системы пишут в соавторстве одну огромную книгу, у которой невозможно найти начало и никогда не будет конца.

НЕДОСТАЮЩИЙ ЗАКОН. КОНЦЕНТРАТОР ЭНЕРГИИ. КАК ДРЕССИРУЮТ СОБАКУ. ОТ СЛОНА К АМЕБЕ. ВВЕРХ ПО СПИРАЛИ. ОТ ДВУХ ДО ПЯТИ. ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ГАЛАКТИК. РЕАНИМАЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

«Здравствуйте, самоорганизующиеся системы!» — так обратился к участникам состоявшейся в 1959 году конференции по самоорганизующимся системам доктор Вейл. Это шутливое обращение включает в себе глубокий смысл. Доктор Вейл хотел подчеркнуть, что объединение в одну категорию таких несхожих между собой систем, как человек, кристаллизующееся вещество, социологическая группа и популяция животных или растений, отнюдь не является произволом ученых, а отражает некое единство принципов формирования и существования всех самоорганизующихся систем.

Выявлению общих принципов и была посвящена конференция, открытая доктором Вейлом. Для иллюстрации общих принципов самоорганизации авторы докладов избирали самые разнообразные самоорганизующиеся системы, начиная с простых намагниченных кубиков и кончая сложными нервными сетями и комплексами взаимодействующих ЭВМ.

В науке давно назрела необходимость исследования общих закономерностей формирования таких систем, возникающих самопроизвольно в природе или создаваемых человеком сознательно и целенаправленно. Однако

до создания кибернетики, теории информации, математической логики отсутствовал необходимый для подобных исследований теоретический аппарат.

В том же самом 1959 году, выступая на Всесоюзной конференции по философским вопросам естествознания, эстонский академик Густав Наан сказал:

«При анализе совокупности фактов, известных науке трудно избавиться от подозрения, что список фундаментальных законов природы существенно не полон, что в нем не хватает по крайней мере одного очень общего закона. В самом деле. Мы имеем закон или законы ответственные, грубо говоря, за стабильность и преемственность мирового порядка. Это законы сохранения, прежде всего закон сохранения энергии. Мы имеем другой закон, ответственный за направленность процессов природы,— второй закон термодинамики. Этот закон говорит об универсальной эволюции в направлении все большего беспорядка, хаоса, в направлении, если угодно, демобилизации энергии.

Между тем, в природе мы наблюдаем самые разнообразные процессы, так сказать, антиэнтропийного характера,— процессы возникновения сложного из более простого. Быть может, возникновение звезд, планет, галактик, происхождение жизни, по крайней мере отчасти, именно потому с таким трудом поддаются раскрытию, что нам неизвестен соответствующий общий закон, и мы находимся во власти сильно укоренившегося представления о том, что все эти явления могут получить объяснение только как редкое исключение из общего правила».

Спустя два года, выступая на конференции в США, кибернетик Эшби высказал сходные соображения, отмечая, что ошибочный взгляд на происхождение жизни как на «редкое и странное явление» опровергается результатами исследований общих принципов и общей тенденции самоорганизации очень многих существующих в природе систем.

Мысль о том, что в природе действует некий противоборствующий возрастанию хаоса и беспорядка закон, в свое время высказывал Энгельс, считавший, что «... излученная в мировое пространство теплота должна иметь возможность каким-то путем... снова сосредоточиться и начать активно функционировать»

«Концентратором», в котором сосредоточивается и активно функционирует излученная в мировое пространство

солнечная энергия, является всякий живой организм. Если рассеивание тепла сопровождается увеличением энтропии, то вся жизнедеятельность — это противоположный, анти-энтропийный процесс. «Впитывая» и перерабатывая энергию Солнца, организмы растений и животных используют ее для движения, развития и продолжения рода. Об этом писал и Людвиг Больцман, понимавший, что одновременно с действием закона возрастания энтропии в живой природе действует некий антиэнтропийный закон. По мнению Больцмана, борьба за существование — это не борьба за органические вещества, в избытке рассеянные в окружающем воздухе, в воде и в земле; это не борьба за энергию, которая в форме, названной Больцманом «непревратимой» (то есть в виде тепла), тоже щедро рассеяна по окружающему пространству и добыча которой не составляет для организма большого труда. Борьба за существование — это борьба за энтропию (вернее, за уменьшение энтропии). К такому выводу пришел Больцман около 100 лет назад.

В различных формах ту же самую идею высказывали такие выдающиеся ученые, как Тимирязев, Вернадский, Шредингер.

И тем не менее до разработки теории информации закономерности антиэнтропийных процессов не удавалось сформулировать достаточно четко, поскольку сама энтропия оставалась недостаточно осознанным, слишком абстрактным понятием, по поводу которого советский физик П. Г. Кузнецов сказал:

«Не понимая, «что» возрастает в неживой природе, нельзя показать и «что» убывает в явлениях жизни». С помощью теории информации современная наука начала выявлять не только загадочное «что», но и заманчивое «как».

Начнем с самых наглядных примеров. Допустим, что мы захотели научить собаку различать цифры от 1 до 10. Разложив десять карточек с цифрами в случайном порядке, мы просим собаку выбрать из них, например, цифру 6. До начала дрессировки собака понимает лишь слово «дай», поэтому в ответ на приказ «Дай цифру 6» она выберет карточку наугад. Лишь после множества повторений, поощрений и наказаний собака поймет, что требует от нее дрессировщик. Возросла вероятность того, что в ответ на соответствующую команду собака выберет именно цифру 6.

Нечто подобное происходит в живой природе. Путем «поощрений» и «наказаний» в течение множества поколений накапливается способность дифференцировать вероятности тех или иных реакций на воздействия внешней среды. В процессе такой «дрессировки» организмы, популяции, виды меняют не только свое поведение, но и физиологию, и структуру органов, то есть весь комплекс признаков, определяющих жизнеспособность данного вида. И все эти сложные взаимодействия в общем виде сводятся к одному и тому же процессу — дифференцировке вероятностей функции $\sum p_i \log p_i$. При этом, как мы уже

знаем, уменьшается энтропия, а количество информации возрастает ровно на столько, на сколько уменьшилась энтропия по сравнению со своим максимумом, когда все вероятности p_i были равны друг другу (собака выбирала любую из десяти карточек наугад).

Знаем мы и о том, к чему приводит этот процесс, доведенный до абсолюта: побеждает одна вероятность, текст превращается в повторение одинаковых букв, слов или фраз.

В живой природе такому тексту соответствуют узкоспециализированные (например, паразитические) организмы, приспособившиеся к существованию в условиях неизменной, стабильной среды. При изменении внешних условий организмы эти обречены на вымирание (так же, как текст АААА... при изменении адреса сообщения или других условий, которые были заранее оговорены, теряет смысл). Обреченность вызвана не чем иным, как отсутствием у подобных систем той спасительной энтропии, которая позволила бы осуществить поиск других вариантов существования, методом проб и ошибок приспособиться к изменившимся условиям среды. И тут возникает законный вопрос: если в процессе развития все системы стремятся к детерминации и лишаются возможности дальнейших эволюционных преобразований, то как объяснить присущую живой природе тенденцию к непрерывному образованию все более сложных и совершенных форм?

Дело в том, что биологические системы не достигают «тупикового» состояния жесткой детерминации. Выход из тупика заключается в переходе на более высокие структурные уровни, в умении природы складывать «слова» из «букв», «фразы» из «слов», «концепции» из «фраз» и т. д.

Но вот вопрос: что побуждает живую природу неуклонно шагать по этой иерархической лестнице? Оказывается, не так-то просто ответить на него. Из того факта, что естественный отбор уничтожает вредные признаки, а все полезные признаки закрепляются путем передачи потомству, вовсе не следует, что эволюция должна приводить к усложнению форм.

Дарвиновские законы случайной изменчивости и естественного отбора помогают понять, как происходит процесс эволюции. Современная наука, помимо вопроса «как?», ставит еще вопрос «почему?».

Вот что пишут по этому поводу в своей книге «Процесс эволюции» современные теоретики эволюции П. Эрлих и Р. Холм: «Основной вопрос остается без ответа: почему в ходе эволюции ДНК создала для своего собственного воспроизведения трубказубов и людей, тогда как бактерии и другие простые организмы, казалось бы, могут не хуже служить для этой цели?»

Известный английский публицист и юморист Сэмюэль Батлер придал этой проблеме форму забавного парадокса, заявив, что для него вообще остается неясным, почему эволюция осуществляется в направлении не от слона к амебе, а от амебы к слону.

Вероятно, ответ на поставленный выше вопрос кроется в статистическом механизме эволюционных процессов. Лишенные органов зрения, обоняния, осязания, низшие организмы находятся в полной зависимости от капризов внешней среды. Сохранение подобных видов оплачивается ценой их массовой гибели и компенсируется способностью к быстрому размножению.

Организм млекопитающих представляет собой многоуровневую и многофункциональную структуру. Высокие уровни организации призваны охранять все нижележащие, обеспечивая тем самым их относительную независимость от изменений условий внешней среды. Высокие уровни организации заключают в себе большое количество информации, помогающей им оперативно и гибко приспособиться к разным условиям. Это значит, что по мере образования высоких уровней организации увеличивается вероятность выживания организмов и передачи их свойств и признаков будущим поколениям. И наоборот: любое упрощение структуры увеличивает вероятность погибнуть, не успев обзавестись потомством и передать ему по наследству тенденцию эволюции вспять. Вот почему в течение

всей истории существования биосферы эволюция идет в направлении не от слона к амебе, а от амебы к слону.

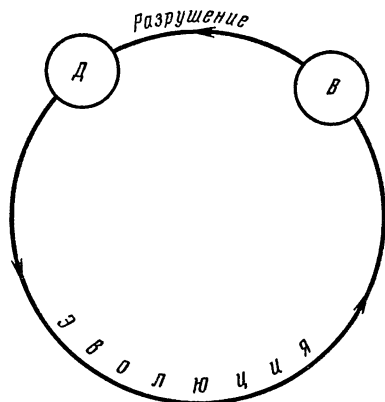
Попробуем представить себе, как протекает процесс развития сложных, многоуровневых систем. Все начинается с первозданного хаоса, когда вероятности одинаковы, а энтропия имеет максимальную величину. Среда «дрессирует» систему (эта «дрессировка» может длиться сотнями поколений), заставляя ее вырабатывать реакции и структуру с дифференцированными значениями вероятностей, что соответствует уменьшению энтропии, определяемой с помощью функции $\sum_i p_i \log p_i$. Пределом этой тен-

денции является жесткая детерминация, когда одна вероятность равна единице, а все остальные — нулю. Этому состоянию соответствует текст из одинаковых букв, слов или фраз.

Все только что сказанное можно изобразить в виде круга, на котором буквой *Д* обозначено состояние деградации (нулевой информации и максимальной энтропии), а буквой *В* состояние вырождения (когда накопленная информация свелась к повторению одного и того же).

В обиходе слова «деградация» и «вырождение» синонимичны. В нашей модели они обозначают два противоположных состояния системы на ее эволюционном пути. Деградация в данном контексте означает исчезновение различий элементов и признаков, когда все они приобретают равную вероятность. Вырождение означает переход от гибких, разнообразных текстов к текстам, состоящим из повторяющихся букв, слов или фраз. И все же в каком-то смысле термины «деградация» и «вырождение» остаются синонимами, потому что крайности сходятся: достигнув состояния вырождения, система теряет всякую приспособляемость (за счет нулевой энтропии, то есть отсутствия мутаций, позволяющих реализовать поиск с помощью проб и ошибок) и потому мгновенно переходит в состояние деградации (разрушается) при любых изменениях внешней среды. Если от *Д* к *В* ведет длительный путь эволюции (см. рис. на с. 125), то переход от *В* к *Д* представляет собой короткий скачок.

Мы уже знаем, что к состоянию *В* суждено приблизиться немногим системам (планетные системы, паразитические организмы, условные рефлексy и т. п.). Гораздо чаще, проделав определенный путь от состояния *Д* до какой-то точки изображенного на рисунке круга, достигнув



определенного соотношения стохастичности и детерминации на данном уровне организации, система разрывает этот «порочный круг» и переходит на следующий структурный уровень.

На новом витке спирали продолжается та же тенденция: накапливая информацию и увеличивая детерминацию, система продолжает свое движение от состояния *Д* к состоянию *В*. Значит, переход на более высокие уровни развития не спасает системы от вырождения? Выходит, что вырождение, сведение к стереотипу — это неизбежный удел, финишное состояние всех развивающихся систем?

Печально было бы, если бы так происходило в действительности. К счастью, многие явления окружающего мира опровергают столь скептический вывод, поражая нас бесконечным разнообразием отнюдь не стереотипных, а гармоничных, совершенных, непрерывно развивающихся форм.

Как увязать это с общей тенденцией к вырождению, вытекающей из анализа свойств функции $\sum p_i \log p_i$?

Может быть, функция все же в чем-то несовершенна? Не поторопились ли мы, назвав ее обобщенной математической моделью всех развивающихся систем?

Оказывается, эта функция позволяет найти ответ и на такие вопросы. Чтобы понять, как тенденция к вырождению сочетается с неограниченными возможностями развития, надо принять во внимание еще один важный принцип, который можно назвать принципом увеличения разнообра-

зия многоуровневых систем. Суть принципа заключается в том, что из ограниченного набора букв можно составить практически неограниченное число слов и фраз.

Если в каждом слове содержится k букв, то из алфавита, состоящего из N_0 букв, можно получить $N_1 = N_0^k$ слов.

Правда, среди этих слов будут такие, в которых одна буква повторяется трехкратно, четырехкратно, k -кратно (число N_1 включает в себя все возможные комбинации букв). Этим наша модель отличается от реальных текстов, в которых используются далеко не все комбинации букв. Но для нас сейчас важно выявить, как растет разнообразие признаков по мере подъема системы на новые более высокие уровни.

Если теперь из N_1 слов складывать фразы по k слов в каждой фразе, то число фраз получится

$$N_2 = N_1^k = (N_0^k)^k = N_0^{k^2}$$

В нашем движении вверх по спирали мы поднялись пока только на две ступеньки: от букв к словам, от слов к фразам. Нетрудно сообразить, что, поднявшись на n ступенек, мы получим число комбинаций, равное

$$N_n = N_0^{k^n}$$

Вычисление энтропии и информации осуществляется с помощью логарифмов. Например, при равной вероятности всех N_n признаков энтропия равна

$$H_{n \max} = \log N_n = \log N_0^{k^n} = k^n \log N_0.$$

Другими словами, максимальная энтропия на n -м уровне больше, чем максимальная энтропия на начальном (нулевом) уровне в k^n раз. (На нулевом уровне $H_0 = \log N_0$). Пройдя на n -м уровне весь круг от состояния D до состояния B , то есть от максимальной до нулевой энтропии, система накопит информацию, количество которой окажется в k^n раз больше, чем на уровне $n = 0$.

Эту закономерность можно представить в виде вписанной в перевернутый конус расширяющейся спирали, каждый виток которой имеет диаметр в k раз больший, чем лежащий под ним виток.

Здесь придется сделать еще одно отступление, чтобы понять, чем наша модель отличается от реальных систем.

Соотношение $N_n = N_0^{k^n}$ получено нами в предположении,

что величина k на всех уровнях сохраняется неизменной, то есть каждое слово содержит k букв, а каждая фраза k слов.

В реальных текстах это условие не соблюдается: фраза может содержать и одно слово (вечерело; темнело) и много десятков слов. Слово тоже может включать в себя и всего одну букву (союзы, предлоги) и десятки букв.

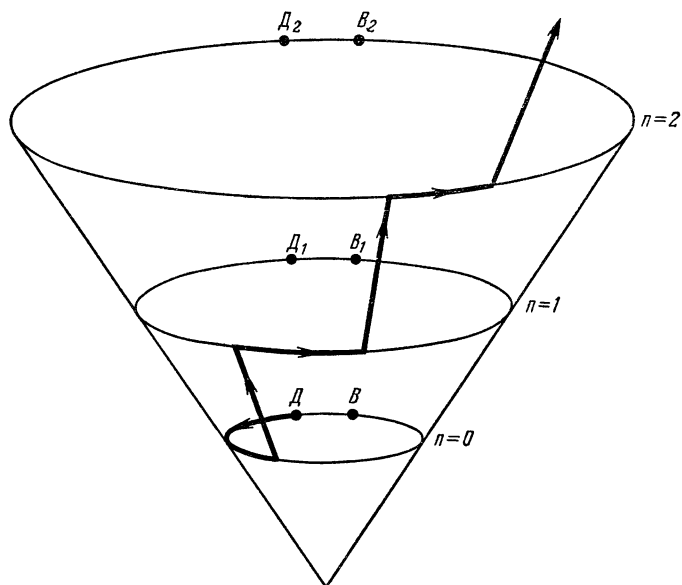
Иронизируя над характерным для немецкого языка слиянием многих слов в одно длинное слово, Марк Твен придумал слово ШРАТТЕРПРОТЕЛЪГОТТЕНТОТЕНМУТЕРАТТЕНТЕТЕР, означающее, что в городе ШРАТТЕРПРОТЕЛЪ объявился убийца (АТТЕНТЕТЕР), лишивший жизни мать готтентота (ГОТТЕНТОТЕНМУТЕР).

Чтобы показать, насколько шутка Марка Твена недалеко от действительности, приведем заимствованное из современной технической литературы немецкое слово KESSELSTREINVERHINDERUNGSMITTELERZEUGUNGSGESSELSHAFT, переводимое как «мероприятия по изготовлению растворителей для накипи, образующейся в котлах».

Мы с вами пренебрегли указанными особенностями письменной речи (распространяющимися и на другие системы) и построили модель, в которой все фразы содержат одинаковое число слов, а все слова — одинаковое число букв. Сделано это лишь для того, чтобы нагляднее выявить разнообразие признаков и количество информации в зависимости от номера уровня n при всех прочих равных условиях (в том числе и при равных количествах k тех элементов, из которых складываются слова, фразы и т. д.).

Такой прием позволил нам выявить закономерность: при подъеме на n ступенек иерархической лестницы система увеличивает свою информационную емкость в k^n раз. Проиллюстрируем это числами: если диаметр нижнего витка изображенной на рисунке (с. 128) вписанной в конус спирали принять равным 1 сантиметру, то соотношение длин витков в сантиметрах при $k=6$ будет таким: 1 : 6 : 36 : 216 : 1296. Два нижних витка (алфавит из N_0 букв и весь словарь шестибуквенных слов) без труда умещаются на этой странице. Третий виток (все фразы из шести слов) не уместится даже на развороте книги. Четвертый займет заметную часть комнаты. Пятый удастся разместить только в пределах двора.

С такой скоростью растет информационная емкость



при подъеме на пять ступенек иерархической лестницы. И в такой же пропорции уменьшается скорость приближения системы к полному вырождению в результате накопления равного количества информации на различных витках спирали. Если на первом витке система прошла весь путь от состояния D до состояния B , накопив информацию ΔI , то при том же количестве информации, накопленной на пятом витке спирали (то есть при $n=5$), система пройдет всего лишь $1/1296$ часть пути.

Теперь нетрудно понять, почему, постоянно стремясь к состоянию вырождения, система может никогда не достичь его: чем выше она поднялась по ступеням иерархической лестницы, тем больше ей надо копить информации, чтобы перейти из состояния D в состояние B .

На пути к B система оказывается тем дальше от этого состояния, чем больше витков спирали ей удалось пройти.

На высоких иерархических уровнях можно копить информацию, открывая новые научные истины, формируя сложные биологические системы и не опасаясь приблизить к состоянию вырождения научную мысль и биосферу Земли. Чтобы убедиться в справедливости полученных нами

выводов, лучше всего перейти от общетеоретических, абстрактных рассуждений к рассмотрению свойств конкретных систем.

Самой наглядной эволюционирующей иерархической системой, пожалуй, является наш язык. Нулевым уровнем письменных текстов служит алфавит. Вполне очевидно, что на этом уровне никакого развития не происходит: число и значение букв алфавита не изменяется в течение многих столетий, если не считать таких не очень принципиальных реформ, как отказ от букв *і* и *ѣ* — «ять». Со словами уже сложнее. Для нас с вами все слова имеют определенное значение, наш словарный запас в основном удовлетворяет все наши потребности, и вряд ли у нас возникнет острая потребность в изобретении каких-нибудь новых слов. Можно сказать, что наш с вами язык на уровне слов тоже почти прекратил свое развитие, а все наши творческие потребности и возможности реализуются на уровне составляемых нами фраз.

По-иному дела обстоят у ребенка, только вступившего на творческий путь освоения языка. Потребность его в словотворчестве заметна прежде всего родителям, которые готовы каждый день рассказывать родственникам или знакомым, какие придумывает их любимое чадо неожиданные и смешные слова.

Тончайший знаток детской речи Корней Иванович Чуковский собрал богатейшую коллекцию детских слов. Вот некоторые примеры из его книги «От двух до пяти»: песок песучий; обезьяны уклюжие; мазелин; вертилятор; копатка; строганок; колоток; вык, вык и привык; отмухиваться (отмахиваться от мух); отпомнил (в смысле забыл); распонял (в смысле перестал понимать); луксус (лук в уксусе); раз на ногах ногти, то на руках рукти; раз гуси ходят гуськом, значит, утки — утьком и т. п.

Обратите внимание, какие все это точные и образные слова! Мы с вами можем лишь пожалеть, что утратили такое чуткое и образное отношение к слову и позавидовать тем, кто сумел сохранить его на всю свою жизнь. Благодаря этой способности некоторых выдающихся мастеров слога наш язык время от времени обогащается новыми словами вроде «стушеваться», «обиностраниться» и т. п. Слово «стушеваться» придумано Достоевским, «обиностраниться» — Гоголем.

Многие рожденные творческой фантазией различных

авторов неологизмы со страниц их книг переселяются в повседневную жизнь.

В начале века чешский писатель Карел Чапек из известного слова «работа» образовал новое слово «робот». В наши дни вопрос создания промышленных роботов — не тема научной фантастики, а один из актуальных вопросов оснащения новейшими средствами автоматизации современных промышленных предприятий.

Кстати, столь привычное для нас слово «промышленность» в свое время тоже пришло в жизнь из литературы: его образовал от слова «промысел» известный русский писатель и историк Николай Михайлович Карамзин.

Слова «атмосфера», «кристаллизация», «вязкость» ввел в науку М. В. Ломоносов. Слово «охотиться» образовал писатель М. Загоскин (до появления этого слова бытовало выражение «ездить на охоту»). Поэт К. Батюшков впервые употребил слово «сладострастие». Часто употребляемое в наши дни слово «бездарь» предложил в начале века поэт И. Северянин. Творческой фантазией писателей, поэтов, ученых рождено великое множество ставших такими необходимыми для нас слов.

Не все неологизмы прививаются к живой человеческой речи. Не вошли в обиход предложенное Ф. М. Достоевским слово «обнеряшиться» или употребленное в стихотворении И. Северянина слово «дождить». Но в самой способности пожизненно сохранять детскую свежесть отношения к словам, фразам, событиям и явлениям заключен один из главных творческих стимулов, порождающих оригинальные научные теории, шедевры живописи, поэзии, музыки и других жанров искусства.

Такой способностью наделен от природы не каждый. Для большинства людей развитие мышления, происходящее по рассмотренной нами спирали, сопровождается детерминацией мыслей на каждом из преодоленных ими витков. Как в детстве постепенно детерминируются значения слов, так годам к тридцати на более высоких уровнях детерминируются понятия и представления, и мы начинаем пользоваться приобретенными запасами, называя их «профессиональными навыками» или «жизненным опытом» и часто прибегая к их надежной защите от непривычных для нас взглядов, новых веяний и идей.

У творческой личности мысль неустанно движется по спирали, внося свои новшества на всех уровнях и дости-

гая все более и более высоких витков. Математически одаренный школьник творчески овладевает навыками элементарной алгебры. Если занятия математикой становятся его пожизненным делом, правила алгебры превращаются для него в детерминированные кирпичики, из которых он на верхних витках спирали будет строить более сложные понятия: функция, множество, оператор и т. п.

Переходы на более высокие уровни мышления, способность обобщать, «мыслить другими категориями» — главный показатель степени развития человеческого ума.

Примеры, которые мы рассмотрели, должны убедить читателя в том, что информационно-энтропийная спираль — это не просто хитроумная теоретическая абстракция, а обобщенная модель процессов развития, отражающая свойства реальных систем (хотя, разумеется, не исчерпывающая их).

Действенность модели мы привели на примерах творческого мышления и письменных текстов. Те же самые закономерности можно обнаружить в процессах развития возникших безо всякого участия человека биологических систем. Некоторые из них выбрали для своего существования самый нижний виток спирали. Речь идет об одноклеточных организмах, обладающих самыми простейшими формами приспособления к условиям окружающей среды. Не случайно многих из них наука относит к числу паразитических видов: легче всего им приспособиться к тем неизменным условиям (постоянному давлению, температуре, неизменному химическому составу среды), которые им предоставил «приютивший» их организм.

Но есть у спирали витки высокого уровня, где из букв складываются слова, фразы, концепции, из клеток — ткани, органы, организмы, из организмов — популяции, виды, классы и, наконец, вся биосфера, тоже представляющая собой некий комплексный, сложный организм.

Регулирование биологического развития осуществляется с помощью сложных генетических программ, для передачи которых природа использует биологический код. Этот универсальный язык биосферы тоже развивался по законам спирали, что подтверждается результатами исследований его свойств. Автор книги «Биологический код» американский ученый М. Ичас отмечает, что на уровне «трехбуквенных слов» (таких, как АГА, ГАУ,

АУГ и т. п.) биологический код жестко детерминирован: каждому используемому природой генетическому слову соответствует одна из двадцати включаемых в процесс синтеза живых белков аминокислот.

В «раннем детстве» земной биосферы эти слова и связи возникали путем случайного перебора вариантов. Природа искала лучшие сочетания, как ребенок ищет удачное слово вроде «копатки», «вертилятора» и «колотка». Когда возникли сложные взаимосвязи между клетками организмов, природе уже невозможно стало «резвиться, как в детстве», потому что любая перестановка связей между словами и аминокислотами грозит организму смертельным исходом за счет образования нежизнеспособных белков. Но развитие не прекращается. Оно перешло на более высокие иерархические уровни.

Точно так же и мы, формируя новую мысль, не станем изобретать для этого свои слова или буквы. Мы воспользуемся готовым алфавитом и общепринятым (то есть детерминированным) словарем. С их помощью мы сможем составить совсем новый, оригинальный, никому не известный до этого текст.

Та же картина сложилась и в устной речи. Советский ученый В. В. Иванов на основании данных исследований «языка» обезьян пришел к выводу, что набор звуков, из которых образуются употребляемые в обезьяньем обиходе сигналы, мало чем отличается от набора звуков (фонем), из которых складывается наша устная речь. Полагают, что сходство обусловлено однотипностью давно сформировавшейся человеческой и обезьяньей гортани. Но язык наш в отличие от обезьяньего бесконечно разнообразен и гибок. Его богатство возникло на высших, не доступных обезьяньему разуму витках языковой спирали — на уровне фраз, понятий, теорий, научных трудов и литературных творений, которые создает человек.

Каждая новая научная теория тоже в той или иной степени детерминирует человеческую мысль. До открытия закона сохранения энергии мысли многих изобретателей были направлены на поиски вечного двигателя. Закон сохранения навсегда освободил человечество от этих непроизводительных интеллектуальных затрат. С новой научной теорией уменьшается энтропия научных поисков, отпадают пути тупиковые, определяется круг наиболее перспективных задач.

В принципе эта детерминация должна проявляться в

статистических свойствах научных текстов, поскольку увеличение детерминации мысли влечет за собой увеличение детерминации языка.

Однако сколько бы мы ни исследовали тексты, сравнивая между собой современные книги с научными трудами прошлых веков, мы обнаружим в них одно и то же уже известное нам соотношение стохастичности и детерминации, равное 1 : 4.

Наша спираль позволяет найти объяснение этому факту. Детерминация языка, связанная с появлением новых научных теорий, осуществляется на высоких уровнях иерархической спирали, информационная емкость которых больше, чем емкость нижнего уровня в k^n раз. Сколько бы информации ни содержалось во вновь написанной книге, количество ее по сравнению с информационной емкостью (длиной n -го витка спирали) будет ничтожно мало. Это значит, что с появлением новой теории мысль и язык сдвинулись в направлении B лишь на ничтожно малый, практически неощутимый шаг.

Современная наука изучает различные уровни материального мира: микроуровень элементарных частиц, молекул и клеток; макроуровень организмов, физических тел; метауровень взаимодействия галактик. И на всех уровнях она обнаруживает нескончаемую диалектическую борьбу энтропии и информации — двух противоположных начал, отражающих вечное стремление к увеличению хаоса и противодействующую ему тенденцию к образованию упорядоченных структур.

Одностороннее рассмотрение энтропийных свойств тепловой энергии породило теорию тепловой смерти Вселенной, не учитывающую той информации, которую вносят во все происходящие во Вселенной процессы участвующие в них гравитационные, электромагнитные и ядерные поля.

Например, монохроматичные («одноцветные» *) электромагнитные волны представляют собой строго периодические (то есть неизменно повторяющиеся в одинаковые промежутки времени) возрастания и спады магнитных и электрических сил.

* Хотя слово «одноцветные» является точным переводом слова «монохроматические», мы все же предпочли употребить кавычки, потому что монохроматическими могут быть как обладающие определенным цветом волны светового диапазона, так и невидимые волны, относящиеся к другим диапазонам частот.

Свойство электромагнитных волн прямо противоположно энтропийным свойствам тепловой энергии, которая стремится к состоянию деградации, обозначенному буквой D на рисунке (с. 125), в то время как поля сохраняют неизменный порядок, соответствующий на том же рисунке состоянию B .

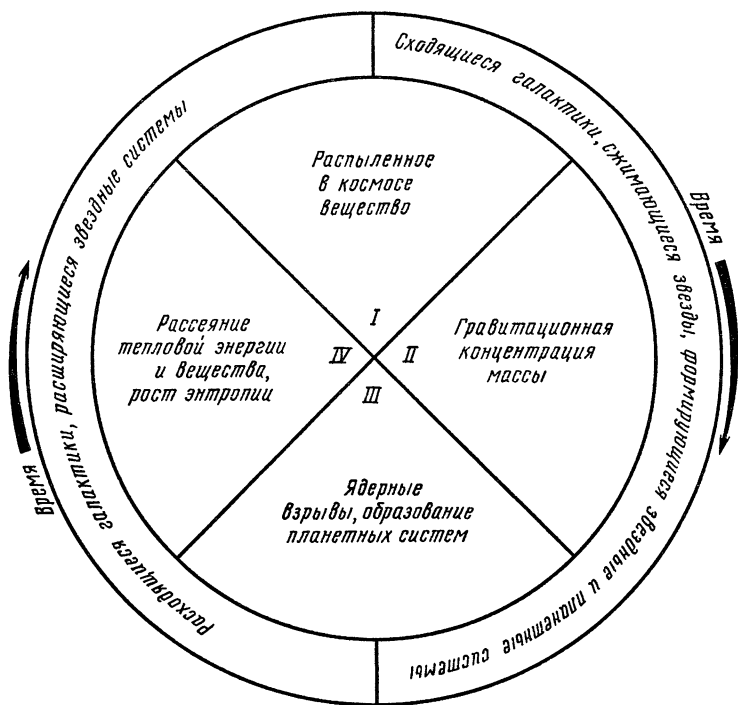
Мы помним, что переходу системы из состояния D в состояние B соответствует накопление такого количества информации, при котором система переходит от равенства всех вероятностей к единственному вероятному состоянию (например, $p_A = 1$, а вероятности всех прочих букв равны нулю). Текст превращается в строго периодическое повторение одной буквы (A — пауза — A — пауза — $A...$), а энергия — в строго периодические колебания магнитных и электрических сил (возрастание — спад — возрастание — спад...).

Информация, обуславливающая такой строгий порядок, может передаваться полями другим системам: воздействия полей на некоторые системы приводят к увеличению упорядоченности их структуры. Эта закономерность проявляется и на микроскопическом уровне (при взаимодействии элементарных частиц, атомов и молекул), и на уровне исследуемых физикой макроскопических объектов (процессы намагничивания, поляризации, взаимодействий намагниченных или электрически заряженных тел), и в масштабах Вселенной (процессы формирования галактик, звездных и планетных систем).

Движение элементарных частиц, атомов и молекул регулируется близкодействующими ядерными и электромагнитными полями. Движением космических тел, звездных систем и галактик управляют дальнодействующие гравитационные поля.

Стоит лишь под действием сил инерции и гравитации образоваться какому-то сгустку материи из космической пыли, как тут же он становится центром гравитационного притяжения, вносящим упорядоченность в движение всех расположенных «в близости» материальных частиц. Соотношением сил инерции и сил притяжения регулируются размеры и скорость вращения образующихся таким образом космических тел.

Когда возникающий в космосе сгусток материи достигает определенной плотности, вступают в действие ядерные поля. В результате гигантских взрывов из сгустков материи образуются братья нашего Солнца, вокруг



которых начинают вращаться сестры наших планет. Система «Солнце — космос — Земля» представляет собой гигантскую тепловую машину, в которой космос играет роль холодильника, а Земля — роль «рабочего тела», превращающего энергию солнечных излучений в энергию ветра, воды, грозы, землетрясений, вулканов, всех живущих на Земле организмов и всех устройств, создаваемых разумом и руками людей. Космические источники тепла — это одновременно и источники информации, содержащейся в упорядоченной энергии излучений. Так, например, Солнце — не только источник энергии, но и первоисточник всей информации, накопленной на Земле.

Взаимодействие различных сил во Вселенной можно изобразить в виде замкнутого космогонического цикла, состоящего из четырех основных стадий, проходимых различными областями Вселенной в различные времена.

Мы с вами находимся сейчас в IV секторе круга: Солнце отдает энергию окружающему пространству,

энтропия в данной части Вселенной постепенно растет. Израсходовав все запасы энергии, Солнце погаснет, вся Солнечная система превратится в космическую пыль. Наша часть Вселенной окажется в I секторе изображенного на рисунке цикла: со временем из космической пыли начнут образовываться сгустки материи (сектор II), затем начнутся процессы, соответствующие III сектору: гигантские взрывы станут причиной образования звезд и планетных систем.

Перед нашим мысленным взором предстает Вселенная, напоминающая мехи музыкальной гармоник, которые, растягиваясь в одних местах, одновременно сжимаются в других. За тепловой смертью, наступившей в какой-либо части Вселенной, неизменно следует реанимация, стимулируемая такими «регулирующими космического движения», как гравитационные, электромагнитные и ядерные поля. Вселенная, как птица Феникс, то умирает, то восстает из пепла, одновременно копи порядок и увеличивая энтропию рассеиваемого тепла и распыленных в пространстве частиц.

Нельзя утверждать, что нарисованная нами картина намного оптимистичней, чем теория всеобщей тепловой смерти Вселенной. Мало кого утешит тот факт, что космические пылинки, оставшиеся от нашего некогда гармоничного и упорядоченного мира, через громадный отрезок времени (а время без движения планет вокруг Солнца и отсчитывать-то непонятно в каких единицах) станут частицами каких-то неведомых новых планет. С тем же успехом можно пытаться утешить умирающего мыслью о том, что прах его сможет служить удобрением для растущих на его могиле цветов.

Утешаться можно другим: по расчетам ученых отрезок времени, прошедшего с момента образования Солнечной системы, неизмеримо меньше того срока, за который Солнце должно остыть. Так что на наш с вами век, как говорится, хватит. Что же касается человечества, которому, может быть, предстоит дожить до момента угасания Солнца, то кто знает, что к тому времени люди будут способны творить! Может быть, новое искусственное Солнце. А может быть, искусственную Землю, которую они заставят вращаться вокруг какой-то принадлежащей не нашей галактике горячей звезды.

Все это так же трудно себе представить, как и то, что где-то в далекой от нас части Вселенной уже сейчас

существует, возможно, еще более развитый и совершенный, чем наш, населенный разумными жителями мир. Так что скорбеть сейчас по поводу обреченности Солнца и нашей планеты столь же бессмысленно, как неразумно цветущему юноше горевать о том, что в конце концов, в глубокой старости, он все равно умрет. Тем более что всей Вселенной предписана не смерть, а бессмертие: космический цикл, изображенный на нашем рисунке, показывает, что одновременно с разрушающимися системами, находящимися в области разбегающихся галактик, всегда будут существовать и такие области, в которых копится информация, развивается некий неведомый нам совершенный и упорядоченный мир. Он может быть во многом не схожим с привычным для нас с вами миром: в нем могут образоваться иные формы жизни и не похожие на нас с вами разумные существа. Не пытайтесь даже представить себе, как выглядят эти далекие братья по разуму, какие животные и растения их окружают: ваша фантазия наверняка беднее, чем фантазия природы, миллиардами лет пробовавшей «на прочность» различные комбинации атомов, молекул и клеток, из которых образовались сложные организмы и разумные существа.

Конкретные признаки могут быть бесконечно разнообразными, но сам процесс эволюции подчиняется общим законам, справедливым для всей Вселенной. В основе общего механизма эволюционных процессов лежит накопление информации, определяющей структуру клеток и тканей, взаимодействие органов создаваемых природой живых существ.

Можно ли считать нарисованную нами картину «вечной жизни Вселенной» в достаточной степени достоверной? Что это: фантастический вымысел, научная гипотеза или строго доказанный факт?

Современная наука располагает фактами, подтверждающими, что помимо тенденции к увеличению энтропии во Вселенной действуют и антиэнтропийные динамические процессы. Эти факты являются дополнительными аргументами против теории тепловой смерти Вселенной. Но полностью опровергнуть ее наука до сих пор не смогла.

Были попытки опровержения теории тепловой смерти Вселенной на том основании, что второй закон термодинамики распространяется только на закрытые (то есть полностью изолированные от внешнего мира) системы,

а Вселенную нельзя отнести к категории закрытых систем. Аргумент звучал неубедительно. Если считать Вселенную открытой системой, надо предположить, что она каким-то образом взаимодействует... С чем? Ведь она бесконечна! А раз так, значит, взаимодействовать ей вроде бы не с чем, разве что только с собой. Но сами с собой взаимодействуют как раз не открытые, а изолированные системы. А в них всегда растет энтропия.

Вместо убедительной научной аргументации получался порочный логический круг. И опять возникала мрачная тень тепловой смерти Вселенной.

Просто и убедительно аргументировал несостоятельность теории тепловой смерти Вселенной советский ученый А. А. Любищев: если тепловая смерть неизбежна, то почему этого до сих пор не произошло?

Это, конечно, довод, но еще не доказательство и уж во всяком случае не объяснение, каким образом удастся Вселенной вопреки второму закону термодинамики избежать тепловой смерти и сохранить вечную жизнь. Наиболее убедительным на сегодняшний день представляется опровержение тепловой смерти Вселенной, основанное на рассмотрении антиэнтропийного характера гравитационных полей. Современная астрофизика изучает даже такие процессы, в которых второй закон термодинамики действует как бы наоборот. Вот что пишет по этому поводу сотрудник обсерватории Академии наук Казахской ССР доктор физико-математических наук И. Л. Генкин:

«...Один из основных постулатов термодинамики — постулат о существовании равновесного состояния — не имеет места для систем, состоящих из гравитирующих материальных точек (даже если мысленно представлять эти системы замкнутыми). Дело в том, что системы гравитирующих тел и их большие подсистемы, как можно показать, обладают отрицательной теплоемкостью. Обычная система охлаждается, теряя за счет испарения наиболее быстрые молекулы. Гравитирующая система, теряя быстрые частицы, становится горячее. Такие процессы происходят в реальных звездных системах, из которых навсегда улетают звезды со скоростями выше так называемой «второй космической» (параболической) При этом система (ее остаток) сжимается и «разогревается», то есть увеличиваются скорости звезд, что приводит к испарению новых звезд и т. п.

Эти процессы хорошо изучены в звездной динамике. Если учесть изменение массы звездной системы, то окажется, что ее энтропия непрерывно убывает, уносится из системы улетающими звездами. При этом сложность остатка системы возрастает, в нем образуются подсистемы звезд, усиливаются в целом внутренние связи между отдельными элементами, выделяется ядро и т. д.»

Так протекает реанимация, спасающая Вселенную от тепловой смерти и обеспечивающая ей вечную жизнь. Надо учитывать также грандиозность пространственных и временных масштабов космических циклов, не удивляясь тому, что один такт длится многие миллиарды лет.

Казалось бы, в свете современной науки от теории тепловой смерти не должно было остаться камня на камне: открыты реальные космические процессы, противоборствующие увеличению энтропии, установлены общие закономерности, согласно которым тенденциям равномерного растекания тепла по пространству, приводящим к увеличению энтропии, противостоят тенденции накопления информации, образования новых упорядоченных звездных и планетных систем.

Казалось бы... Но на самом деле все обстоит не так просто. Концентрация вещества в космосе неизбежно сопровождается выделением тепла в окружающее космическое пространство. Растекание тепла по пространству сопровождается увеличением энтропии. Второй закон термодинамики утверждает, что этот прирост энтропии по величине перекрывает уменьшение энтропии, обусловленное концентрацией вещества. И никто не сумел пока доказать, что это не так.

Ну а если любые процессы приводят в итоге не к уменьшению, а к возрастанию энтропии, значит, энтропия Вселенной будет становиться все больше и больше, пока не достигнет максимума, означающего, что наступила смерть.

Да, гравитация противодействует этой тенденции. Но откуда берется тепло, разогревающее сжимаемые гравитационным полем космические тела? По-видимому, часть энергии гравитационного поля переходит в тепловую энергию. А чем же восполняются потери антиэнтропийных гравитационных сил?

Современной наукой открыто одно загадочное космическое явление, известное под названием «черных дыр». «Черные дыры» лучше было бы назвать черными ямами:

в них бесследно проваливаются находящиеся поблизости энергия и вещество. Дело в том, что внутри «черной дыры» плотность вещества, а следовательно, и силы его притяжения достигают таких фантастических значений, что «черная дыра» способна всасывать не только мельчайшие частицы вещества, но и проходящие вблизи нее световые лучи. Можно предположить, что «черные дыры» — это и есть те «котлы», в которых все виды вещества и энергии «перевариваются» в гравитационные силы, необходимые для восполнения происходящих в других областях Вселенной потерь гравитационной энергии, частично превращающейся в тепло.

Но как проверить эту гипотезу? Ведь вместе с веществом и энергией «черные дыры» поглощают и всю информацию, поэтому для науки остается непостижимой тайной все, что происходит внутри «черной дыры». У нее есть вход, но нет выхода, ее тайны охраняются самым надежным и самым секретным в мире замком.

А раз так, значит, нет научно обоснованных опровержений столь неугодной нам всем теории тепловой смерти Вселенной. Внутри «черной дыры» взгляды ученых и щупальца их научных приборов не могут проникнуть, а во всех доступных наблюдению космических процессах гравитация переходит в тепло, оно растекается по пространству, значит, информация убывает, а энтропия растет. И снова на бесконечную громаду Вселенной ложится не менее громадная черная тень...

Может быть, надо с этим смириться? Может быть, восставать против неотвратимости смерти Вселенной столь же бессмысленно, как отрицать свою собственную неизбежную смерть?

Не будем делать преждевременных выводов. Новые веяния заострили внимание науки на этой проблеме. И последнее слово остается за ней.

ОПЕРАЦИЯ «ДАННИНГ». УРОВЕНЬ ШУМА. СНОВА ВЕХИ ИСТОРИИ. ПРЕСЛОВУТОЕ «ВДРУГ». ГЕНИАЛЬНАЯ МОЛНИЯ. ДВАДЦАТЬ СТРОК ИЗ ВЕРГИЛИЯ. ГУЛЛИВЕР У ЛАПУТЯН. ТВОРЕЦ ИЛИ РОБОТ? ПРОБЛЕМА ДИЛЕТАНТИЗМА

В одном американском научно-исследовательском центре произошел любопытный случай, имевший большой резонанс не только в научных кругах.

Директор управления национальных исследований доктор Кейз пригласил на совещание видных деятелей американской науки. На совещании был показан документальный фильм, в котором некий молодой человек по имени Леон Даннинг продемонстрировал полет с помощью разработанного им портативного антигравитационного аппарата. Во время полета изобретатель погиб. Не осталось ничего, кроме киноленты, зафиксировавшей полет и его трагическую развязку, и магнитной ленты, на которой были записаны прерываемые шумом аэродрома обрывочные высказывания Леона Даннинга об идее созданного им аппарата. Сохранились также обломки самого аппарата, лаборатория Даннинга и его библиотека. На основе таких данных участникам совещания было предложено восстановить аппарат.

В печать просочились некоторые сведения о частной лаборатории Даннинга, на оборудование которой им было, по-видимому, затрачено немало средств. Лаборатория поражала воображение сочетанием самых разнообразных приборов, начиная со средневековых реторт алхимиков и кончая самыми современными электронными машинами. Еще более разношерстной оказалась научная библиотека покойного, включавшая в себя и книги по теории относительности и теории поля, и всякие мистические сочинения из области черной магии, астрологии, левитации и оккультных наук.

Воображение молодого физика Мартина Нэгла было потрясено всеми этими фактами. Его не покидали мысли о тех загадочных путях, которые привели Леона Даннинга к созданию антигравитационного прибора. Спустя короткое время эти мысли оформились в законченную теорию «антигравитационного безвихревого поля», а еще месяц спустя был создан новый антигравитационный аппарат.

То, что последовало за этим, стало сенсацией года, вытеснив со страниц популярных еженедельников сообщения о «подвигах» террористов и причудах самых модных кинозвезд. На конференции, посвященной выдающемуся научному достижению — второму рождению антигравитационного аппарата Даннинга, — неожиданно появился сам Леон Даннинг. Нет, он не восстал из мертвых. И не собирался отвоевывать у Нэгла свои изобретательские права. Даннинг вообще не изобретал никаких летательных аппаратов. Он был лишь скромным исполнителем роли в фильме, который создал для своих

коллег доктор Кейз. Этим приемом Кейз хотел «расшевелить» творческое воображение ученых, скованное господствующей научной парадигмой — грузом традиционных взглядов на окружающий мир.

Напоминание об алхимии, левитации, черной магии заставило ученых подумать, что рамки классических теорий, быть может, не вмещают в себя всего многообразия не познанных нами явлений природы. Проведенная Кейзом «Операция Даннинг» повысила «уровень шума» в мыслях ученых, стимулировала их творческий процесс.

Настала пора признаться читателю, что он был мистифицирован дважды: доктором Кейзом и автором этой книги, выдавшим за реальный случай историю, рассказанную американским писателем Раймондом Джоунсом в научно-фантастической новелле «Уровень шума». Положенная в основу новеллы идея, по всей видимости, заимствована Р. Джоунсом из статьи кибернетика Эшби «Усилитель мыслительных способностей», в которой утверждается, что именно шум служит источником всех новых открытий. а для «усиления мыслительных способностей» необходимо научиться возбуждать и правильно фильтровать этот шум.

Однако, сам того не подозревая, Джоунс своим рассказом опровергает точку зрения на процесс творческого мышления, высказанную Эшби. Ведь успех в создании антигравитационного аппарата был достигнут не столько тем, что в создании ученых был повышен «уровень шума», сколько тем, что своей мистификацией Кейз сумел направить к определенной, четко поставленной цели описанный в рассказе творческий процесс.

Логика развития сюжета оказалась сильнее логики Эшби и привела автора рассказа «Уровень шума» к не до конца осознанному им самим выводу о необходимости сочетания направленности и стохастичности научного поиска.

Мы же воспользовались сюжетом рассказа «Уровень шума» в качестве повода для разговора о том, что существование оптимального соотношения стохастичности и детерминации, энтропии и информации характерно не только для эволюции языка и биологических видов, но и для любых других процессов развития, к числу которых относится изобретательство, научное и художественное творчество и любая другая форма созидательной деятельности людей.

С тех пор как люди стали задумываться над закономерностями объективного мира, их начала волновать и другая проблема: закономерности развития творческой созидательной мысли, позволяющей людям познавать, понимать и преобразовывать окружающий мир. Эта рефлексия мышления, стремление мысли познать свою собственную природу, начавшись в древности, продолжается и по нынешний день. И так же, как в других областях науки, во взглядах на природу творческого мышления ученые многократно кидались из крайности в крайность, то чрезмерно уповая на спасительные случайности, якобы служащие единственным источником всех новых идей и открытий, то утверждая, что случайности вовсе нет места в истинном творчестве, которое должно представлять собой четко направленный, подчиняющийся строгим законам формальной логики детерминированный процесс.

Еще в IV веке до нашей эры в блистательных трудах Аристотеля «Аналитика», «О софистических опровержениях» были вскрыты фундаментальные законы, на которых зиждется строгая логическая мысль. Аристотель сумел показать, что все логические построения, сколь бы сложными они ни казались, основываются на довольно простых логических правилах. Шаг за шагом усложняя рассуждения, при строгом соблюдении формальных логических правил всегда получишь единственно правильный для данных исходных посылок ответ.

Прошло девятнадцать веков... Опять эти вехи истории! Ничего не поделаешь: если хочешь глубже понять суть современной научной проблемы, лучше всего пройти заново весь путь от истоков до ее современного состояния, мысленно останавливаясь у каждой из важных исторических вех.

Итак, девятнадцать веков спустя после создания логики Аристотелем выдающийся английский мыслитель лорд Ф. Бэкон, вооружившись законами логики и индукции, решил с их помощью открыть все, что не успели открыть до него. Если правильно (то есть строго соблюдая формальные логические правила) обрабатывать данные, добытые в эксперименте, считал автор «Нового Органона», все открытия будут вытекать из такой обработки эмпирических данных сами собой.

Однако благие пожелания Бэкона так и остались всего лишь провозглашенным призывом, поскольку ни

одно из последующих открытий не было сделано на основе одних только правил формальной логики, как хотел бы того Бэкон. Скрупулезно собранные экспериментальные факты навсегда оставались бы бесполезной грудой цифр, таблиц, понапрасну изведенной бумаги, и никакая логика не могла бы извлечь из этой груды новую осмысленную концепцию, если бы вся информация не подбиралась целенаправленно, со стремлением исследователя подтвердить или опровергнуть часто еще до конца не созревшую, а иногда даже едва промелькнувшую мысль. Толчком для открытий служат гипотезы — вот новый взгляд на природу творческого процесса, высказанный в конце прошлого века Клодом Бернаром в противовес бэконовским утверждениям, будто делать открытия не труднее, чем печь лепешки: был бы рецепт для теста, огонь, сковорода, масло, и тогда любому желающему гарантирован полный успех. Нет, делать открытия не удастся так же уверенно, как печь лепешки. Помимо сковороды, масла, рецептов, желания, нужна еще руководящая идея, ценность которой, собственно, и предопределяет результат.

Как часто случается и в науке и в жизни, среди сторонников взглядов Клода Бернара нашлись и такие максималисты, которые решили, что раз собака зарыта в научных гипотезах, то формальная логика для исследований и открытий совсем не нужна. Больше того, по их мнению, сформулированные Аристотелем формальные правила логики даже вредны для исследователя, поскольку они сковывают свободную творческую мысль. Вот еще одно неопровержимое доказательство плодотворности возвращения к важным вехам истории: в споре о роли Аристотелевой логики в процессе творческого мышления Аристотель мог бы выступить самым строгим судьей. Ибо не кто иной, как Аристотель, первым высказал примерно те же самые мысли об ограниченных возможностях формальной логики, которые спустя двадцать два века повторил Клод Бернар.

В отличие от Бэкона Аристотель вовсе не утверждал, что разработанная им формальная логика — единственный универсальный способ научного мышления. Напомним: Аристотель подчеркивал в «Топике», что в процессе мышления, помимо однозначных и достоверных выводов, могут быть и не подчиняющиеся законам формальной логики выводы предположительного характера, неод-

нозначные заключения типа «может быть — да, но, возможно, и нет». Такой способ мышления Аристотель считал диалектическим, противопоставлял его строго логическому мышлению (Аристотель называл этот способ аподиктическим), дающим однозначный и полностью достоверный (то есть, переведя на современный научный язык, имеющий стопроцентную вероятность) ответ.

Как это ни удивительно, взгляды Аристотеля оказались ближе к современным научным воззрениям на диалектическую природу творческого мышления, чем все, что высказывалось по этому поводу в течение многих веков после него. Хотя и по сей день есть немало приверженцев крайних позиций, спор все еще не решен до конца.

Как рождаются изобретения?

Существует множество механизмов, приборов, методов, приспособлений, которые для всех уже стали привычными. И вдруг находится человек, который заявляет, что надо делать совсем не так. И предлагает оригинальное, неожиданное решение. Неожданное не только для тех, кто пользовался старой конструкцией механизма или прибора, но и для него самого. Спросите его: как он пришел к такому решению? Вряд ли он скажет в ответ что-нибудь вразумительное. Думал, искал, ходил вокруг да около, долго не получалось, и вдруг...

Опять это пресловутое «вдруг»! Откуда оно берется? С неба? А может быть, правильнее считать, что новые открытия и изобретения возникают вовсе не «вдруг»?

Принципиально новым этапом в развитии взглядов на природу творческого мышления было создание эвристических программ электронно-вычислительных машин.

Я уже говорил о том, что до тех пор, пока машинные программы строились только по правилам формальной логики, машины не способны были принимать каких-то решений, выходящих за рамки программ. Чтобы наделить машину эвристическими способностями, пришлось специально вводить в программы шум.

Проводя параллель между эвристическими программами ЭВМ и творческим мышлением человека, многие ученые стали делать слишком поспешные выводы, будто в момент создания новых теорий или изобретений в голове автора тоже действует некий шум.

Впрочем, еще раз окинув ретроспективным взглядом вехи истории, можно обнаружить, что идея об участии шума в процессе творчества отнюдь не является детищем кибернетики: ту же самую мысль высказал еще в 1855 году американский ученый А. Бен. Кстати сказать, ему же принадлежит столь полюболюбившееся кибернетикам выражение «метод проб и ошибок». Электронно-вычислительная техника помогла переосмыслить и терминологию А. Бена и его идею о роли случайностей в творческих процессах: ведь теперь такие процессы (пусть весьма упрощенно и приближенно) моделируются в эвристических программах электронных машин. Метод проб и ошибок реализуется здесь довольно-таки просто: для осуществления эвристического поиска на определенные промежутки времени вместо команд, предусмотренных жестко детерминированной программой, вводится обыкновенный шум, о котором здесь уже было сказано, что он и есть «порция энтропии», столь необходимая для любого созидательного процесса.

Может быть, подобный шум возникает и в голове ученого, когда он ищет ответ на нерешенный научный вопрос?

Казалось бы, слишком уж очевидна механистичность подобного упрощенного взгляда на сложный процесс научного творчества. И тем не менее именно этот взгляд импонирует некоторым западным ученым, к числу которых принадлежат, в частности, У. Р. Эшби, Л. Бриллюэн и Дж. Кэмпбелл. В работе Кэмпбелла данная точка зрения раскрывается наиболее последовательно и полно*. Стоит, потратив некоторое время, восстановить цепь его рассуждений, чтобы уяснить себе, из-за какого звена распадается вся цепь.

Лейтмотивом работы Кэмпбелла служит утверждение, что в основе творческого поиска лежат слепые вариации, не зависящие ни от прошлого опыта, ни от цели поиска и поставленных творческих задач. По мнению Кэмпбелла, ни удачно найденное решение проблемы, ни открытие, ни изобретение «ничего не говорят нам о превосходстве гения одного человека — просто так случилось, что он стоял на том месте, которое внезапно озарила молния». «Мы испытываем соблазн,— рассуждает

* Упомянутую работу Кэмпбелла читатель сможет найти при желании в сб.: Самоорганизующиеся системы М., Мир, 1964

Кэмпбелл,—искать у этого человека наличие особо неуловимого таланта... В случае подлинно не поддающегося предвидению творческого акта наше «благоговение» и «удивление» должно быть направлено вовне, к внешнему миру, который так себя обнаруживает, а не к тому, что предшествовало этому открытию. Точно так же, как мы не приписываем особого «предвидения» удачному мутанту по сравнению с неудачным, мы во многих открытиях не должны предполагать, что изумительные заключения имели столь же изумительное прошлое».

Надо признать: сравнение с удачным мутантом выбрано автором в качестве аргумента как раз весьма неудачно. «Удачный мутант» — это тоже результат всей предшествующей эволюции, которая как раз и является «изумительным прошлым» биосферы Земли. Учет «изумительного прошлого» — необходимое условие анализа эволюции биологических видов. В противном случае мы вправе считать, что «удачная мутация» инфузории могла породить дельфина, первый мужчина появился на свет в результате «удачных мутаций» молекул глины, а первая женщина — в результате «мутаций» его ребра.

Простой расчет, проведенный современным американским ученым М. Иденом, показывает, что путем «чисто случайного» перебора комбинаций не могли бы возникнуть не только сложные организмы, но даже отдельные молекулы белка. Белковые молекулы представляют собой разнообразные чередования аминокислот. Существующие в природе 20 аминокислот — это, как уже говорилось, слова, из которых комбинируются фразы — молекулы белков. Каждая фраза содержит в среднем около 250 слов.

Вернемся еще раз к принципу увеличения разнообразия. Общее число фраз N_2 , которые можно составить, комбинируя 20 слов ($N_1=20$) по k слов в каждой фразе (где $k=250$), составит:

$$N_2 = N_1^k = 20^{250} = 10^{325}.$$

Общее число устойчивых белковых молекул по приблизительным подсчетам Идена составляет около 10^{52} . Вероятность того, что случайная фраза из 10^{325} фраз окажется белковой молекулой, составляет ничтожную величину: $10^{52}/10^{325} = 10^{-273}$.

Иден приходит к выводу, что реализация подобной случайности даже в течение миллионов столетий практически столь же невероятна, сколь невероятно, чтобы ребенок, играющий в кубики с буквами, вдруг набрал хотя бы первые 20 строк из «Энеиды» Вергилия.

Тем не менее Кэмпбелл пытается нас убеждать, что именно нечто подобное и происходит в процессе творческого мышления: при решении той или иной научной проблемы шансы на успех у исследователя, наделенного эрудицией и опытом, ничуть не выше, чем у того, кто пытается ту же проблему решать наскоком.

По мнению Кэмпбелла, «многие важные вклады в науку будут сделаны сравнительно неталантливыми и малоусердными людьми», ибо всякая иная позиция приводит к «обожествлению творческого гения, которому мы приписываем способность непосредственного ясновидения, вместо барахтанья мыслей и блуждания по тупикам, что является, как мы это осознаем, прообразом наших процессов мышления».

Трудно придумать более утешительную теорию для тупиц и лентяев: не надо овладевать знаниями, намечать цель, упорно идти к ней — пусть себе ничем не обремененная мысль «барахтается» и «блуждает», авось на что-нибудь путное и набредет.

Несостоятельность подобных выводов столь очевидна, что даже сам автор вынужден, хотя бы отчасти, это признать. Не случайно он вспоминает, что еще в 1726 году Свифт создал пародию на подобные псевдонаучные толкования творческого процесса, описав в «Путешествиях Гулливера» лапутянскую академию, где великие истины открываются путем нанизывания на стержни случайных последовательностей букв.

Существует современная модификация этого метода, которому группой авторов было присвоено шутовское название «алгоритма Британского музея». Суть метода заключается в том, чтобы заставить обезьян стучать на печатающих машинках. Расчеты показывают: путем случайного перебора букв в течение миллиона лет группа обезьян наряду со множеством бессмысленных вариаций создаст и осмысленные страницы всех книг, которые хранятся в Британском музее.

Так в чем же все-таки состоит отличие талантливого ученого от обезьяны? Пытаясь ответить на этот вопрос,

Кэмпбелл приходит к выводу, что разница проявляется не на этапе поиска, а лишь на этапе отбора «слепых вариаций». «Различие между успехом и неуспехом лежит в условиях выбора встретившихся заново комбинаций, а не в различиях талантов при создании проб». Другими словами, в «алгоритм Британского музея» надо включить опытных библиографов, которые смогли бы из обильного потока обезьяньего творчества отбраковывать вариации, в которых окажется все, что написали Аристотель, Спиноза, Бэкон, Шекспир, Шиллер, Пушкин, Толстой и т. д.

Итак, процесс творческого поиска Кэмпбелл подразделяет на две независимые стадии, из которых первая, по его мнению, абсолютно случайна (поиск), а вторая — детерминирована (отбор). Согласно трактовке Кэмпбелла такие факторы, как способности, эрудиция, опыт, проявляются лишь на второй стадии, в то время как первая стадия совершенно от них не зависит.

«Каковы же признаки, по которым можно различать мыслителей друг от друга, исходя из концепции модели «проб и ошибок?» — спрашивает Кэмпбелл. — Прежде всего, они могут отличаться друг от друга точностью и подробностью своих представлений об окружающем мире, о манипуляциях с его элементами, а также представлений о критериях выбора... Творческий мыслитель большого масштаба может удерживать в уме большое количество таких критериев, и поэтому увеличивается вероятность его успеха в решении проблемы, сопряженной с первоначальным главным направлением его попыток. Последняя область индивидуальных различий в способностях связана с умением накапливать и передавать встречающиеся решения».

Если для иллюстрации снова прибегнуть к помощи «алгоритма Британского музея», общие высказывания Кэмпбелла можно истолковать так: талантливый библиограф должен быть эрудирован в такой степени, чтобы он мог узнавать сочинения и Аристотеля и Толстого. Если же он эрудирован, скажем, только в области философии, то из потока обезьяньего творчества он выделит сочинения Аристотеля и Бэкона, а Шекспира и Шиллера отправит «в брак». Больше того, и философию и литературу он должен знать в мельчайших подробностях: ведь вместе с подлинными сочинениями Аристотеля в потоке книг будут встречаться экземпляры, отлича-

ющиеся от подлинника только переиначиванием одной авторской мысли или перестановкой всего лишь двух фраз или двух слов.

На основании своих представлений о творчестве как о сочетании слепых вариаций и направленного отбора Кэмпбелл делает чисто практический вывод «о целесообразности взаимно дополняющих друг друга комбинаций талантов в творческих объединениях, хотя, как известно, несдержанный, буруеваемый идеями человек и человек методического склада, склонный редактировать и протоколировать, являются плохо совместимыми коллегами». Другими словами, один родился на свет, чтобы генерировать неожиданные идеи, другой — чтобы их фильтровать. И вот этим-то доведенным до логического завершения искусственным расчленением процесса мышления сначала в пределах одного мозга, а затем между сознанием двух различных людей («коллег») Кэмпбелл, наконец, и вскрывает корень своих противоречий, проистекающих из допущения, что стохастический поиск и детерминированная его направленность не могут диалектически совмещаться в одном мозге, в одно и то же время.

Источник ошибочных выводов и взглядов на природу процесса мышления — в непреодоленной полностью современной наукой метафизичности подхода, при котором (придется еще раз напомнить слова Энгельса) «какая-нибудь вещь, какое-нибудь отношение, какой-нибудь процесс либо случайны, либо необходимы, но не могут быть и тем и другим».

В противовес такому метафизическому подходу эвристические программы электронных машин строятся на сочетании детерминированных логических операций со случайными шумовыми процессами, поэтому современные «неометафизики» не пытаются отрицать роль ни тех ни других. Однако вековые метафизические традиции мешают признать, что процесс может быть «и тем и другим» одновременно. Отсюда возникает желание искусственно расчленить диалектически единый процесс творческого мышления на «чисто» случайную и жестко детерминированную части (случайный поиск и детерминированный отбор).

Между тем именно совмещение случайных и детерминированных связей — это и залог и необходимое условие всякого творческого успеха. Тот факт, что такое

совмещение в пределах единой системы в принципе возможно, подтверждает анализ вероятностных свойств языка. Как уже известно читателю, в языке благополучно сосуществуют и энтропия и жесткие детерминированные правила, причем на каждый бит непредсказуемой информации приходится 4 бита, которые можно заранее предсказать.

Язык — средство общения, в процессе которого мы формулируем мысли. Выявленное в языке сочетание неожиданных и предсказуемых элементов присуще и самому процессу мышления и тем связям между клетками мозга, которые его обеспечивают.

В чем проявляется это свойство творческого мышления? Понять нетрудно. Предсказуемость представляет собой, в сущности, выбор направлений поиска. Но в то же время для каждого направления остается диапазон непредсказуемых решений. Если сузить его до пределов общепринятых представлений и взглядов, то не приходится надеяться на неожиданные ассоциации или, как выражаются современные физики, «сумасшедшие идеи». С другой стороны, успеха в творчестве достигает не тот, чья мысль «барахтается» и «блуждает» без всяких ограничений, а тот, кто сумел заранее определить правильные направления поиска и объективные критерии оценки того, что в каждом из выбранных направлений удастся найти. (Из двух названных условий Кэмпбелл признает только необходимость критериев.) Лишь после того как четко сформулирована цель научного поиска и намечены возможные пути достижения поставленной цели, можно осуществлять в выбранных направлениях стохастичный поиск по методу проб и ошибок, не слишком сужая его границы. В умении совместить оптимальным образом противоречивые условия стохастичности (энтропийности) и целенаправленности поиска и проявляется истинный творческий талант.

Что же определяет успех научного или художественного творчества: устойчивость, пунктуальность или неожиданность, смелость и широта? Кто должен жить в ученом или в художнике, направлять его поступки и мысли, подсказывать решения и слова — творец или робот?

И тот и другой! В этом и заключается противоречивая сущность творческого процесса и все вытекающие из нее сложности самого творчества и так называемых творческих натур.

История науки и техники знает немало примеров того, как важные открытия и изобретения рождались путем неожиданных сопоставлений несходных явлений из далеких научных или технических областей. Этим процесс мышления отличается от процесса биологической эволюции, в котором многообразие видов и видовых признаков обусловлено не широким диапазоном мутаций у одного поколения, а последовательным накоплением небольших отклонений в течение многих сменяющихся поколений. Именно благодаря этому свойству возникает тенденция постепенного целесообразного развития органов (а не внезапное «чисто» случайное образование дельфина из инфузории, как хотел бы того Кэмпбелл). Именно в таком смысле следует понимать высказывание известного американского биолога К. Уоддингтона: «Мы, разумеется, не должны считать, что глаз позвоночного животного, нога лошади или шея жирафа представляют собой в сколько-нибудь серьезном смысле результат случайного поиска».

Действительно, процесс эволюционного образования глаз или шеи жирафа отличается от игры ребенка, раскладывающего буквы в случайном порядке и неожиданно вопреки законам теории вероятностей способного набрать 20 вергилиевских строк. Процесс эволюции не нуждается в столь невероятных совпадениях. Дело в том, что в течение миллионов лет предыстории того или иного биологического вида в его генетическом коде накопилось не 20, а 20 тысяч или даже 20 миллионов упорядоченных строк. Роль мутаций заключается в том, чтобы путем случайного перебора найти всего одну букву или в лучшем случае одно слово, с которого могла бы начаться следующая строка.

При этом (вспомним еще раз нашу спираль) буквой какого-то иерархического уровня могут служить и слова и целые фразы, то есть сложные комплексы взаимосвязанных признаков, обеспечивающие целесообразное взаимодействие организма с внешней средой.

Мутации взаимосвязанных генов должны быть каким-то образом согласованы друг с другом, иначе каждый полезный признак догружался бы множеством бесполезных и вредных, подобно тому как в нагрузку к интересующей вас книге вам иногда предлагают купить еще пяток вам ненужных. В конце концов это приводило бы не к улучшению приспособляемости

популяций и видов, а к полному их вымиранию под ударами не прощающей неудачных проб и неизбежных ошибок неумолимой внешней среды.

Здесь уместно напомнить сказанное ранее: в природе все происходит иначе. Накопленная организмами информация, определяющая всю их структуру и функции, ограничивает и направляет процессы самопроизвольных (спонтанных) мутаций точно так же, как информация языковых правил ограничивает и направляет непредсказуемые «мутации» языка. Сохраняемая в структуре систем информация обеспечивает и осмысленную упорядоченность письменных текстов и целесообразную направленность тех или иных случайно возникших полезных биологических признаков, которые передаст по наследству потомкам тот или иной мутант.

Признавая ограничения мутаций, происходящих на уровне взаимосвязанных генов, нельзя согласиться с Уоддингтоном, который, повторяя ошибку Кэмпбелла, пытается расчленить на чисто случайную и жестко детерминированную части диалектически единый процесс.

По мнению Уоддингтона, случайный поиск может осуществляться только на самом первичном уровне организации «генетического материала» и выражается в добавлении, исключении или изменении последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК.

«Следует ли из этого, что изменения, на которые действует естественный отбор, также случайны?» — спрашивает Уоддингтон. А в качестве ответа приводит следующий пример:

«Форма гравия на дне реки определяется случайными процессами, то есть возникает в результате случайного поиска. Однако из этого не следует, что случайный поиск играет сколько-нибудь существенную роль в строительстве моста из бетона для приготовления которого был использован этот гравий. Факторы, учитываемые при сооружении моста, относятся, так сказать, к иному порядку сложности, чем те, которые определяют образование компонентов бетона. Надо спросить, не обусловлена ли приписываемая эволюции зависимость от случайного поиска сходным смешением различных порядков сложности?»

В процессе биологической эволюции «гравием» является упомянутый выше генетический материал, для которого Уоддингтон признает право случайных мутаций

отдельных генов. Однако «у высших организмов... изменения, оказавшиеся выгодными в эволюционном плане, зависят вообще не от случайных мутаций единичных генов... Эволюция высших организмов зависит от отбора признаков, на которые более или менее одинаково интенсивно влияет большое число генов. Такие признаки можно сравнить скорее с бетонными блоками, а не отдельными камешками гравия в бетоне».

Все вышесказанное не вызывало бы никаких возражений, если бы Уоддингтон признал право случайного поиска и за строителями моста. Но мост Уоддингтона почему-то должен быть непременно построен по стандартному, заостеневшему, детерминированному проекту, из которого случайный поиск должен быть абсолютно исключен.

«Возвращаясь к аналогии с бетонным блоком, можно сказать, что роль случайных процессов заключается в том, чтобы «создать» гравий; затем мы можем из этого гравия приготовить бетон, а этому бетону придать форму какого-либо объекта, приспособленного к окружающей среде. Эта форма не будет воспроизводить объект во всех деталях, если гравий был слишком крупный; если же гравий, напротив, был слишком мелкий, то форма будет недостаточно прочной. Самое главное — это чтобы смесь имела оптимальный состав. В образовании гравия участвуют лишь случайные процессы, но от этого еще очень далеко до вывода, что формы, образующиеся в соответствии с тем или иным объектом, т. е. фенотипы, в разных условиях среды также возникают путем случайного поиска».

Совершенно тот же подход, что у Кэмпбелла: стремление разорвать единый процесс на две части, выделить на него чисто случайную и жестко детерминированную части. Но выводы прямо противоположны: Кэмпбелл преувеличивает роль случайного поиска в процессе эвристического мышления, а Уоддингтон пытается преуменьшить роль случайных мутаций в процессе образования биологических видов. Как та, так и другая крайность вытекает из метафизического подхода к исследованию диалектически противоречивых явлений, подхода, при котором исследователь стремится во что бы то ни стало доказать, что явление «либо случайно, либо необходимо», что оно ни в коем случае не должно и не может быть «и тем и другим».

Истина же, как мы убеждались неоднократно, находится где-то между двумя крайностями: на уровне «бетонных блоков» (комплексов наследственных признаков, управляемых определенными комбинациями взаимосвязанных генов) природой тоже осуществляется эвристический поиск, однако мутации происходят не в безграничных пределах, а в рамках определенных детерминированных генетических правил, увязывающих одновременные изменения во многих генах и тем самым определяющих целесообразность и направленность мутаций, подобно тому как соблюдение ранее апробированных строительных правил гарантирует долговечность и прочность вновь создаваемого моста.

В отличие от осознанного творческого процесса процесс биологической эволюции осуществляется растянутыми во времени ничтожно маленькими шажками, поскольку природа не знает заранее, чего она хочет, а просто «мутирует наугад букву за буквой», а затем «испытывает на прочность» (в смысле приспособляемости и выживаемости) каждый полученный вариант. В этом смысле поиск в процессе биологической эволюции в большей степени приближается к слепому, хотя и он не является абсолютно слепым: создавая новый видовой признак, природа неукоснительно сохраняет в своей «генетической памяти» весь остальной комплекс признаков, определяющий данный вид.

Для осознанного творчества это условие вовсе не обязательно. В случае необходимости поэт может выкинуть из памяти 20 уже написанных строк задуманной поэмы и начать заново. Так часто и поступает художник или ученый в тех случаях, когда он чувствует, что предварительно накопленные представления и достижения становятся отягчающим творческий акт багажом. В этом часто и заключается еще один важный секрет творческого успеха: суметь вовремя выйти из тупика, наметив обходной путь и новую этапную (не теряя прежнюю конечную) цель. Здесь человеку-творцу обычно приходит на помощь воображение, которым создающая биологические виды природа, увы, не наделена. Потому-то природа и вынуждена двигаться по пути созидания миллиарды лет маленькими шажками, в то время как человек может в один момент озарения «найти точку опоры и перевернуть земной шар». Благодаря способности творческой мысли мгновенно «мутировать» ассоциации между любы-

ми явлениями наше сознание может за сравнительно короткое время воспроизводить (моделировать) такие процессы, как эволюция биологических видов, реальная продолжительность которых составляет миллионы и миллиарды лет.

Можно сказать, что в процессе осознанного творческого поиска «цель — эталон» может возникнуть как перспективно (с помощью воображения, интуиции), так и ретроспективно (из накопленного опыта и сохраняемых представлений), а в процессе биологической эволюции природа может создать только ретроспективный эталон.

Возникающие в процессе творческих поисков ассоциации рождаются не «слепыми шараханиями и блужданиями мысли», а целенаправленным поиском, сопоставлением приобретенных предварительно глубоких знаний из нескольких не связанных между собой, но освоенных данным исследователем областей. Лучшим тому подтверждением может служить пока еще очень короткая, но уже весьма поучительная история создания теории информации. Главный этап в создании теории заключался именно в сопоставлении не связанных между собой областей человеческих знаний: взяв формулу энтропии из статистической физики, К. Шеннон предложил решать с ее помощью задачи техники связи. О том, что из этого получилось, мы говорим на протяжении всех страниц этой книги, затронув, конечно, не всю проблематику теории информации, а только одну из сторон.

Широко известно то обстоятельство, что в успехе решения любой новой научной проблемы интуиции исследователя принадлежит далеко не последняя роль. А что представляет собой интуиция, как не совмещение случайных и детерминированных связей, когда накопленный опыт подсказывает примерное направление поиска и способы проверки и отбора гипотез, а недостаток исходных данных восполняется удачными решениями, принимаемыми «наугад»! «Интуиция предлагает, а мышление доказывает», — сказали по этому поводу авторы книги «Целеустремленные системы» Ф. Эмери и Р. Акофф.

История мировой науки знает немало примеров того, как случайные совпадения явлений порождали внезапные озарения, давшие миру удивительные плоды. Помимо общеизвестных легенд о ньютоновском яблоке или о приснившейся Менделееву периодической системе химических элементов, существует множество фактов, под-

тверждающих, что в научных открытиях случайность играет немаловажную роль. Взаимосвязь электричества и магнетизма была установлена Эрстедом благодаря тому, что во время занятий один из его студентов случайно заметил отклонение намагниченной стрелки, расположенной неподалеку от провода, по которому Эрстед пропускал электрический ток. Фарадей случайно заметил кратковременное отклонение стрелки прибора в момент подключения источника питания к изолированной от цепи прибора (первичной) обмотке. Этого было достаточно для установления закона электромагнитной индукции, существование которого Фарадей предвидел интуитивно, но не мог подтвердить опытом в течение десяти лет. Рентген обнаружил названное затем его именем жесткое излучение благодаря тому, что рядом с катодной трубкой (прообразом современных электронно-лучевых трубок) случайно оказался не убранный на место флуоресцентный экран. Созданию покрываемых солями серебра светочувствительных фотопластинок помогла серебряная ложка, случайно положенная Дагерром на йодированную металлическую поверхность и оставившая на ней свой след.

Все эти примеры иллюстрируют огромную роль случайностей в рождении изобретений и открытий. Но в одних ли случайностях дело? Ведь не случайно же эти открытия сделали именно Ньютон, именно Эрстед, именно Фарадей, Дагерр, Рентген!

Если бы Фарадей, Эрстед, Даггер, Рентген не имели за плечами многих лет упорных научных поисков, вряд ли они обратили бы внимание на отклоняющиеся стрелки, засвеченный экран и почерневшую пластину. А Менделееву не приснился бы такой важный для всего человечества сон. В том-то и штука, что каждый из них уже нес в подсознании в той или иной степени созревшую идею, сотни раз продуманную гипотетическую концепцию, а случайности лишь помогли ухватиться за недостающее звено.

О необходимости целенаправленных исследований и руководящей идеи сам Дмитрий Иванович Менделеев говорил так: «Лучше держаться такой гипотезы, которая может оказаться со временем неверной, чем никакой» И всей своей жизнью Менделеев подтвердил правильность такой установки: забрав несколько собственных гипотез относительно закономерностей в изменениях

свойств химических элементов, он в конце концов установил периодический закон.

Если бы каждый научный поиск был чисто случайным, это означало бы равенство вероятностей всех направлений поиска. Такой ситуации соответствует полное отсутствие предварительной информации, то есть максимальный энтропийный поисковый процесс. Так может «творить» обезьяна, для которой в силу отсутствия предварительной речевой информации безразличны все значения букв. Ребенок, овладевающий навыком чтения, творит и ищет уже направленно: на основе усвоенной предварительно разговорной речи он стремится составить из букв произносимые слоги и осмысленные слова. Предварительный опыт ученого позволяет ему осуществлять частично направленный, а частично случайный (по методу проб и ошибок) поиск новых связей между явлениями, понятиями и т. д. Тот же принцип лежит в основе поэтического (и любого другого художественного) творчества: удачные поэтические образы, рифмы и ритмы возникают как результат знания произведений предшественников и современников и общих законов поэтики и стилистики в сочетании с удачным поиском новых ассоциаций и форм.

Чисто случайным связям между словами, при которых энтропия достигает максимума, соответствуют бессмысленные и несогласованные сочетания слов («умный бревно», «вкусные деготь» и т. п.). Случаю нулевой энтропии соответствуют литературные штампы. А где-то у «золотой середины», сочетающей неожиданные ассоциации и детерминированную целенаправленность мысли, рождаются такие поражающие воображение и западающие в душу образы, как скачущий по мостовым Петербурга пушкинский Медный всадник, мчащаяся по миру русская гоголевская птица-тройка, ищущая кого-то в потемках одинокая гармонь М. Исаковского...

Словом, опыт, практика опровергают концепцию «неограниченной свободы творчества», которую провозгласил талантливый американский физик Леон Бриллюэн. Вслед за Эшби и Кэмпбеллом Бриллюэн тоже стал утверждать, что идеи, теории, изобретения и открытия должны возникать из шума, как Афродита из морской пены. А все попытки ограничивать роль шума в творчестве ранее сложившимися взглядами и теориями (Бриллюэн не без оттенка презрения именует их «измами») только вредят делу. С этих позиций написана Бриллюэ-

ном книга «Научная неопределенность и информация». С возражениями против крайней позиции Бриллюэна выступил в послесловии к русскому изданию книги советский философ И. В. Кузнецов.

«Можно ли считать подлинно научным,— пишет И. В. Кузнецов,— столь «свободное» мышление, что оно решительно ничем не ограничено, которое, не считаясь ни с какими законами природы, ни с установленными законами логики, ни с добытыми прежде результатами познания, «творит» все, что ему вздумается? Конечно, нет! «Свобода мышления» — действительно научного мышления — на самом деле предполагает весьма жесткую внутреннюю дисциплину: подчинение определенным законам логики, требованиям доказательности, ясности, последовательности, правилам образования и применения научных понятий и теорий, требованиям соответствия познанным законам природы, соответствия объективной реальности и подчинения строгим критериям истинности. Конечно, эти требования сами меняются и уточняются в ходе развития познания, некоторые порой даже ломаются совсем. Но «свободная мысль» всегда, даже при наличии в ней таких элементов, выходящих за рамки обычных логических форм, как фантазия, воображение, интуиция, так или иначе согласуется с указанными требованиями и именно поэтому оказывается эффективной. Отрицать — это значит принять всерьез, например, заявление невежды о том, что его «свободное мышление» о переменных математических величинах «ограничено» правилами дифференциального и интегрального исчисления, или сочувствовать утверждениям некоего изобретателя о том, что физика с ее законами сохранения и превращения энергии и вторым началом термодинамики ограничивает «свободу мышления» в создании проектов вечных двигателей первого и второго рода.

Конечно, и математика, и физика, как и все другие науки, благодаря установленным ими законам ограничивают определенным образом «свободу мышления». Но это, по существу, ограничения от ошибок и путаницы, а не преграды для творчески действующего научного мышления».

Выходит, что точка зрения Л. Бриллюэна об отрицательном влиянии всех без исключения «измов» сама тоже является порождением определенного «изма», а именно метафизического подхода к процессу познания, неизбеж-

но приводящего, как мы уже убедились, к абсолютизации одной из сторон диалектически противоречивого процесса (в данном случае к абсолютизации «научной неопределенности») и к игнорированию другой стороны (определенных «ограничений», обусловленных наличием накопленной информации и признанных научных теорий). Только в легенде морская пена рождает Афродиту. А в жизни из морской пены, или шума морского прибоя, или из какого-либо другого шума нельзя извлечь ни самой Афродиты, ни ее скульптурных изображений, ни каких-либо других произведений искусства, научных теорий, открытий, изобретений, идей.

Не существует творческого процесса, не ограниченного рамками ранее апробированных приемов, методов и теорий. Но плохо, если ограничения становятся настолько жесткими, что творцу новых идей или конструкций заранее выданы все рецепты, от которых не разрешается отступать ни на шаг. Подобные пути или вериги могут сковать инициативу и свести творческий акт на нет.

Вот ситуация!

Слишком мало свободы — плохо.

Слишком много свободы — плохо.

Ну а как же тогда хорошо?

На этот вопрос читатель, наверное, уже готов сам ответить: хорошо, когда свобода и ограничение в творчестве находятся в соотношении, близком к оптимальному. Каково это соотношение? Определить его в каждом конкретном случае вовсе не просто. И тем не менее такое соотношение есть.

Возьмем, к примеру, проблему унификации и стандартизации разрабатываемых конструкций. Нужно унифицировать? Нужно. Нужно в новых конструкциях применять стандартные узлы и детали? Разумеется, да. Стандартизация и унификация удешевляют изделия, позволяют организовать централизованное изготовление ходовых узлов и деталей, избавляют конструкторов от дуближа разрабатываемых конструкций, от печальной необходимости каждый раз заново изобретать велосипед.

А теперь представьте себе, что всех разработчиков новых конструкций обязали использовать исключительно стандартные, унифицированные детали. Что бы из этого получилось? Полный застой! Во многих случаях из-за отсутствия какого-нибудь стандартного винтика невозможно было бы решить новую конструкторскую задачу.

А если конструктору посчастливится найти все необходимые стандартные винтики и детали, то вряд ли его конструкция будет отличаться от ранее созданных оригинальностью и новизной. Где же выход? Выход все тот же: оптимальное соотношение стандартизации и новизны, традиции и новаторства. Там, где можно унифицировать, унифицируй. Там, где обходишься готовыми решениями, — на здоровье. Но уж если нужно творить — твори!

К счастью, никто не требовал от разработчиков новых конструкций или приборов, чтобы они непременно обходились применением одних только унифицированных деталей. И все же любители перегибать палку всегда найдут способ ее перегнуть...

В недавнем прошлом во многих разрабатывающих организациях (НИИ и КБ) начали бороться с ошибками в технической документации и чертежах. В общем-то цель вполне благородная: непростительно, если изготовленное в опытном производстве новое изделие приходится полностью разбирать, переделывать и собирать заново из-за того, что конструктор забыл по халатности указать в нужном месте отверстие или по невниманию проставил не тот размер. Однако там, где ретивый администратор слишком увлекался системой бездефектного проектирования, случались порой печальные вещи.

Лет десять назад я руководил разработкой нового радиоэлектронного прибора. Один из узлов прибора был неустойчив в работе, очень капризен в регулировке, но сколько мы ни бились над схемой, более удачного решения не удавалось найти. Нас уже поджимали сроки, и пришлось передать разработанную документацию в опытный цех.

Спустя некоторое время один из участников разработки достал первые образцы только что выпущенных новых транзисторов и предложил испытать их в схеме капризного, неустойчивого узла. Я посмотрел характеристики новых транзисторов и убедился, что они позволяют, не потеряв усиления, ввести в схему отрицательную обратную связь. Так мы и сделали. Через час все было проверено на макете, и мы с радостью убедились, что схема, по выражению Бори (так звали инженера, предложившего поставить новые транзисторы), «стала работать как зверь». Я попросил Борю срочно оформить приказ на замену транзисторов и передать его в цех.

Через час Боря позвонил мне из цеха:

— Евгений Александрович! В приказе теперь надо указывать, по чьей вине вносятся изменения в схему и в чертежи.

Я чуть не подпрыгнул вместе со стулом.

— Да нет тут ничьей вины! Новый прибор, новая схема, да и транзисторы эти только что выпущены заводом. Объясните это начальнику цеха!

— Хорошо,— сказал в трубку Боря, и я почувствовал по его тону, что на разговор с начальником цеха он не возлагает слишком больших надежд.

Так и есть: он позвонил мне снова.

— Начальник цеха сказал, что без указания виновных в приказе он не имеет права вносить изменения в схемы и чертежи. Это правило бездефектной системы. Всем работникам цеха приказано его обязательно выполнять.

— А вы... не послали его куда следует?— спросил я Бору, стараясь как можно меньше выражать интонациями бушевавшие во мне чувства.

— Бесполезно,— так же сдержанно ответил мне Боря.— Он ведь тоже не виноват

— Тогда пишите виновным меня.

— Нет,— твердо ответил Боря.— Вас я писать не буду.

— Ну тогда пишите себя!

— И себя не буду.

— Тогда кого же? Пушкина?

— А никого!

— Ну а как же с приказом на изменение?

— Пусть остается как было. Мы помучились с регулировкой. Теперь пусть мучаются они

Не могу утверждать, что позиция Бори показалась мне очень красивой. Но почему-то я промолчал и тем самым как бы вступил с ним в сговор, подменив найденное нами удачное решение прежним, очень плохим. Потом я спросил себя: почему промолчал? Потому что был с ним согласен? Вроде бы нет. Но с другой стороны, что я мог ему возразить? Ведь в его решении была своя железная логика: почему мы должны признавать себя без вины виноватыми, стать притчей во языцех на всех совещаниях по борьбе с бракоделами?

В то время я еще не понимал, что поведение Бори, работников цеха и мое собственное предопределено (детерминировано) жесткими правилами «бездефектной системы», которая из-за формального к ней подхода

превратилась в свою противоположность: вместо того чтобы улучшать качество разрабатываемых нами приборов, она сделала все, чтобы сохранить существующий в нашем приборе дефект. Задолго до этого эпизода был написан сценарий, в котором каждому из нас была отведена строго определенная роль.

Теперь-то я понимаю, что любая система, запрещающая действовать методом проб и ошибок, лишается энтропии, становится консервативной, перестает совершенствоваться и застывает в неизменности всех присущих ей свойств.

Нельзя требовать от конструктора новых приборов и механизмов, чтобы первое же из предложенных им решений обязательно было лучшим. Метод проб и ошибок реализуется в ходе всей разработки, и никакими административными мерами нельзя этого изменить. Можно добиться лишь одного: отучить разработчиков улучшать создаваемые ими изделия. Что же получится в результате? Опять застой! Тут снова проявит себя энтропия: избыток ее нежелателен или даже опасен, но если вовсе избавиться от энтропии, то остановится эволюция, прекратятся научные поиски, застынет в однообразии и будет с методичностью самозаводящегося будильника вечно крутиться механистический детерминированный мир.

Там, где творчество, неизбежен поиск, неизбежны ошибки. Бороться с ошибками нужно. Но ошибка ошибке рознь. За ошибку, допущенную по халатности, нужно наказывать. Исправление технической документации, связанное с найденным новым удачным решением, нужно всячески поощрять. Здесь не годится формула: «А где же вы раньше были?» Подобный вопрос может задать человек, не испытавший мучительных дней созревания не до конца ясных решений. Поэтому человек творческий на вопрос «Где же вы раньше были?» может с полным правом ответить: «Искал!»

Народная мудрость гласит: «Не ошибается тот, кто ничего не делает». В свете идей кибернетики пословицу эту следует несколько уточнить. Можно многое делать и без ошибок, но при том обязательном условии, что операции повторяются раз от разу, а человек должен их выполнять, как автомат. Но если в ходе работы (будь то живопись, музыка, исследование физического явления, изготовление новой сложной детали, разработка новой

конструкции и т. д. и т. п.) необходимо искать новые методы и решения, без проб и ошибок не обойдешься. Вот почему старая поговорка должна звучать теперь немного иначе: «Не ошибается тот, кто не творит».

Какие же практические выводы может сделать из всего сказанного человек, ставящий перед собой те или иные творческие цели? К чему он должен стремиться: к целенаправленному накоплению информации, имеющей непосредственное отношение к уже зародившейся, но еще до конца не оформившейся идее, или к бессистемному поиску неожиданных ассоциаций в совершенно других областях?

И вообще как ему жить и как расходовать отпущенное в весьма ограниченных дозах свободное время: углублять свои знания в одном направлении или всячески расширять свой кругозор, не пренебрегая и смежными областями науки и техники, и произведениями искусства, и общением с разными людьми? Но необъятного все равно не объемлешь, как справедливо заметил Козьма Прутков.

Эта проблема, которую можно условно назвать «проблемой дилетантизма», возникает в тот или иной период жизни у каждого мыслящего человека. И тем более у того, кто, находясь в состоянии постоянных творческих поисков, волей-неволей вынужден регламентировать свой временной бюджет.

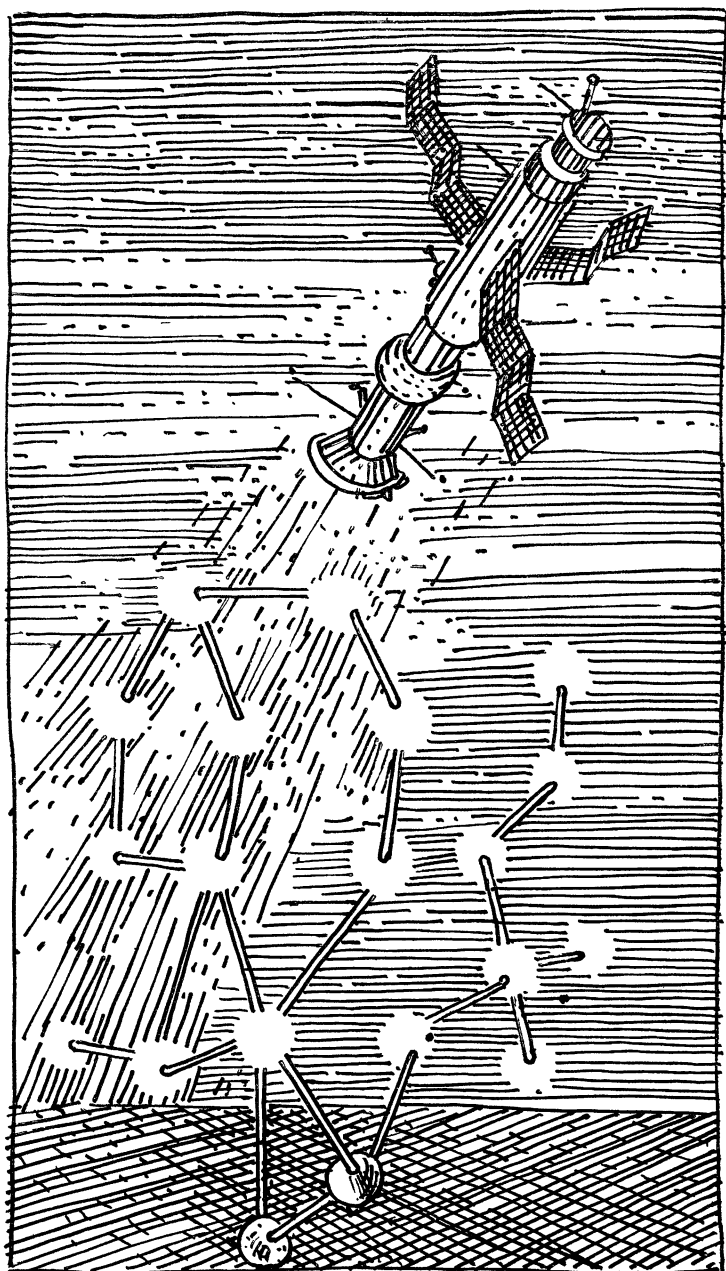
Из рассмотренных нами особенностей творческого мышления сам собой напрашивается следующий практический вывод: вредна как чрезмерная разбросанность в интересах и увлечениях, так и излишняя односторонность. Конечно же, творческий человек должен упорно идти к намеченной цели, на каждом этапе жизни иметь свою сверхзадачу (термин К. С. Станиславского), свою доминанту мышления (термин А. А. Ухтомского). Однако из этого вовсе не вытекает необходимость круглые сутки и изо дня в день думать лишь об одном. Такой режим пошел бы не на пользу, а во вред поставленной творческой цели, поскольку он исключил бы возможность свежего взгляда на суть проблемы, а вместе с тем и возможность неожиданных ассоциаций и оригинальных идей.

Не жалейте времени, потраченного на отдых, чаще бывайте в театре, в кино, в гостях, на выставках, в консерватории, занимайтесь любимым спортом, живите разнообразно и полнокровно и не внушайте себе, что все это рассеивает ваше внимание и отвлекает вас от главных

задач. Наступит момент, когда время, которое вы потратили, как вам казалось, впустую, окупится. «Сидящая внутри вас доминанта» вдруг сработает, как пружина: неожиданно найденная ассоциация породит каскад новых идей.

А может случиться наоборот: идея, отнявшая у вас много сил и времени, станет тускнеть и чахнуть, после того как вы от нее отвлеклись. Не жалейте об этом. Тому виной не отвлекавшие вас посторонние факторы, а сама ваша идея: либо она была в корне ошибочной, либо чего-то ей недоставало для того, чтобы превратиться в законченную зрелую мысль. В первом случае она обречена на гибель, а во втором ей предстоит на какое-то время «уйти в подполье», в глубь вашего подсознания и возродиться спустя месяцы или годы, после того как новые ассоциации породят в вашем творческом воображении взрыв новых идей. Но случиться такое может только при том обязательном условии, что все это время вы постепенно и целенаправленно накапливали и углубляли знания в области, в которую вы задумали сделать свой творческий вклад.

Целенаправленный творческий труд непременно должен чередоваться с разнообразным отдыхом. Как чередоваться? По часам, по дням, по неделям? Здесь уже не удастся найти какой-либо универсальный рецепт. Это зависит и от индивидуальной психики, и от объективных условий жизни, и от характера и стадии творческого процесса. Оптимальный режим, способствующий на каждом этапе самой плодотворной и продуктивной работе, каждый творческий человек должен определить для себя сам.



К ИСТОКАМ ГАРМОНИИ (ЭПИЛОГ)

Для изучения анатомии биолог вооружается скальпелем. Мы же в качестве инструмента познания выбрали функцию энтропии. Препарируя с ее помощью множество самых разнообразных явлений, мы попытались вскрывать их суть. Повсюду мы обнаруживали сочетание стохастичности и детерминации: в творчестве стандартные общепризнанные приемы сочетаются со свободным поиском оригинальных решений; в организмах жесткая наследственная программа, благодаря которой у курицы появляется не щенок, а цыпленок, сочетается с непредсказуемыми мутациями, проявляющимися в потомстве; в природе, в технике, в человеческом обществе постоянно накапливаемая информация и непокоряющаяся ей энтропия находятся в неразрывном единстве и в непрестанной борьбе.

И все это описывается замечательной вероятностной формулой энтропии, формулой, выражающей закон, по которому развивается мир. Значит, прав был Лаплас? Все-таки смог человеческий разум найти ту самую формулу, позволяющую вычислить прошлое и заглянуть в будущее Вселенной?

На этот вопрос мы ответим диалектически: и да, и нет. Да, потому что формула энтропии и в самом деле распространяется на все процессы развития, происходящие в мире. Нет, потому что мир, описываемый с ее помощью, оказался совсем не тем миром, который в своем воображении нарисовал Лаплас.

Лаплас надеялся дать математически точное, однозначное описание всех возможных состояний мира. А формула энтропии, наоборот, показала, что однозначного описания множества явлений не существует вообще. Именно потому нас окружает не фатально запрограммированный механистический мир Лапласа, а полный неожиданностей, непредсказуемо изменяющийся живой диалектический мир.

Изменяется мир, изменяются и научные взгляды. Для написания функции энтропии понадобились всего лишь три математических знака: суммы, логарифма и символа вероятностей. Из их сочетания образовалась формула со смыслом настолько глубоким, что больше ста лет неустан-

ных исследований, размышлений и споров не позволили раскрыть его полностью.

Людвиг Больцман показал, как возникает молекулярный хаос в предоставленном самому себе (изолированном) газе. Клод Шеннон предложил оценивать, сколько новой и сколько предсказуемой информации несет в себе телеграфный сигнал или письменный текст. Казалось бы, что может быть общего между газом и текстом? Но последующие исследования информации и энтропии показали, что между всеми явлениями мира существует неразрывная связь.

Все известные науке системы стали выстраиваться в последовательную цепочку, на одном конце которой оказался хаос космической пыли, а на другом — мозг, тексты и ЭВМ. Стало понятно, что и Больцман и Шеннон, в сущности, занимались одной и той же проблемой соотношения хаоса и порядка, хотя и подошли к ней и к связанной с ней цепочке систем и явлений с противоположных сторон.

В 1948 году один из основоположников квантовой физики Вернер Гейзенберг, выступая перед студентами цюрихской Высшей школы, говорил о том, что математический аппарат физики нуждается во введении новых понятий, которые позволили бы найти физический подход к процессам жизни и к «духовным процессам» (так Гейзенберг определил все, что связано с интеллектуальной и эмоциональной деятельностью людей).

С тех пор утекло много воды. В год упомянутого выступления Гейзенберга появились первые работы Шеннона, на базе которых стала развиваться теория информации, предложившая то самое новое понятие «количества информации», на отсутствие которого сетовал Гейзенберг.

В течение 30 лет это понятие вместе с развивающимся на его основе новым математическим аппаратом все глубже внедрялось и в биологию, и в психологию, и в лингвистику и в другие сферы науки о жизни в самом широком понимании слова «жизнь», начиная с простейшей биологической клетки и кончая тончайшими и сложнейшими сферами духовной жизни людей.

Конечно же, вторжение математики в области, до последнего времени ей неподвластные не решает всех существующих там проблем. Однако многие закономерности, которые еще недавно описывались в науке рас-

плывчато и туманно, начинают постепенно приобретать строгость математических теорем. Можно теперь говорить об информационно-энтропийных законах жизни и эволюции, двух феноменах, связанных неразрывно.

Рассуждая о разных аспектах этой сложнейшей проблемы, мы с вами на протяжении всей книги пользовались одним и тем же приемом: делали разные предположения об изменениях распределения вероятностей каких-то событий и смотрели, что будет происходить с величиной функции $\sum_i p_i \log p_i$.

Прием, казалось бы, чисто формальный. Но как ни удивительно, получаемые таким формальным способом выводы всегда совпадали со свойствами не придуманных умозрительно, а существующих и развивающихся реальных систем.

В чем причина совпадений? В том, что эта функция не просто удачно придуманное сочетание математических символов, а глубокое отражение некой общей закономерности, характерной для всей природы, некой единой сущности всех процессов развития, раскрываемой через информационно-энтропийную связь. И не случайно к пониманию смысла и сущности функции $\sum_i p_i \log p_i$ наука шла таким мучительно долгим путем.

Затраченные на постижение сущности энтропии усилия не пропали даром: установление взаимосвязи между энтропией и информацией позволило найти соотношение запрограммированных и непредсказуемых связей между элементами различных систем.

Начатый мудрецами Древней Греции и длящийся более двух тысячелетий научный диспут о соотношении необходимого и случайного в окружающем мире разрешается диалектически: в мире почти нет явлений, жестко детерминированных или чисто случайных; мир гармоничен именно потому, что развивающиеся системы сами находят те соотношения необходимого и случайного, которые обеспечивают им, с одной стороны, структурную целостность, а с другой — ту изменчивость, которая необходима для гибкого взаимодействия с переменчивой внешней средой.

Мой друг гуманитарий опасался, что, используя формулу энтропии для анализа творчества, ученые пытаются «поверить алгеброй гармонию», что подобно тому, как Моцарта убил завистник его искрометного таланта Сальери, скрупулезный подсчет информации, содержащейся в

произведениях живописи, поэзии или музыки, омертвит, схематизирует трепетные чувства их авторов и их ищущую беспокойную мысль.

Напрасные опасения! Ведь сама эта формула тоже живая! За символами вероятностей в ней скрываются разнообразные непредвиденные события, а из совокупности множества событий складывается наш не подвластный никаким однозначным формулам диалектический мир.

Единственно, что можно безошибочно предвидеть с помощью формул в отношении нашего мира,— это вечное его стремление к усложнению и совершенствованию форм.

Достигнутая миром гармония хранится в накопленной им информации. За вечную молодость, изменчивость, непредсказуемость нашего мира мы должны быть признательны энтропии. Согласитесь, скучно было бы жить в мире (если даже забыть на минуту о том, что жизнь в таком мире вообще не могла возникнуть), в котором все заранее предначертано и ничего нельзя изменить.

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Литература по вопросам, затронутым в книге, настолько обширна, что привести ее всю нет возможности. Правда, это главным образом научные публикации. Тем, кто захочет продолжить знакомство с темой книги, я могу порекомендовать несколько работ, включая ряд вполне доступных для многих научных монографий.

Алексеев Г. Н. **Энергия и энтропия.** М., «Знание», 1978.

Бирюков Б. В., Геллер Е. С. **Кибернетика в гуманитарных науках.** М., Наука, 1973.

Данин Д. **Вероятностный мир.** М., Знание, 1981.

Дюкрок А. **Физика кибернетики.** В сб.: Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная. М., Наука, 1968.

Налимов В. В. **Вероятностная модель языка: о соотношении естественного и искусственного языка.** Изд. 2-е. М., Наука, 1979.

Сачков Ю. В. **Введение в вероятностный мир.** М., Наука, 1971

Седов Е. А. **Репортаж с ничейной земли.** М., Молодая гвардия, 1966.

Седов Е. А. **Эволюция и информация.** М., Наука, 1976

Урсул А. Д. **Информация.** Методологические аспекты. М., Наука 1971.

Шамбадаль П. **Развитие и приложения понятия энтропии.** М., Наука, 1967.

Яглом А. М., Яглом И. М. **Вероятность и информация.** М. Наука, 1973.

ПРОБЛЕМА ЭНТРОПИИ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ (ПОСЛЕСЛОВИЕ)

Проблема энтропии — пожалуй, одна из самых «горячих» точек современной науки. Гносеологический интерес к ней стимулируется нарастающим давлением практики, новыми научными и техническими достижениями. Немалое значение имеют возобновившиеся дискуссии относительно возможности понижения энтропии вследствие самоорганизации и предполагаемых ограничений в действии второго начала термодинамики. В последнее время эти дискуссии приобретают порой драматический характер, хотя ведутся не столько на страницах научных изданий, сколько в популярных журналах и брошюрах, нередко на безответственном уровне и в запальчивой форме.

Поэтому объективное, научное и вместе с тем доступное широкому кругу читателей изложение современного состояния проблемы заслуживает безусловного одобрения.

Понятие энтропии введено в науку Клаузиусом в 1865 году как логическое развитие термодинамики Карно, сформулированной еще до открытия закона сохранения энергии и основанной на теплородной гипотезе. Энтропия характеризовала свойства макроскопической системы в условиях покоя или равновесия применительно к обратимым (идеальным) процессам.

Распространение концепции Клаузиуса на необратимые процессы привело к заключению, что в необратимых взаимодействиях (свойственных макросистемам) энтропия возрастает.

Дальнейшее развитие физики обусловило появление статистической термодинамики, в основу которой легла формула Больцмана, связывающая энтропию с логарифмом вероятности состояний системы (энтропия Планка). Здесь проявляется на макроуровне необратимость времени: со временем энтропия растет, хотя на микроуровне все процессы обратимы и направления времени «вперед» и «назад» симметричны.

Шеннон ввел понятие энтропии в качестве меры неопределенности знания о чем-либо, а сообщение как средство увеличения знания. Соответственно сообщение, переданное по каналу, связи, уменьшает первоначальную

энтропию, а шум в канале увеличивает энтропию сообщения. Отсюда родилось понятие информации как меры уменьшения энтропии. Энтропия Шеннона есть сумма произведений вероятности состояния системы на двоичный логарифм этой вероятности, взятая с обратным знаком. Для вычисления энтропии, следовательно, требуется знать распределение вероятностей. Концепция Шеннона позволила ему построить фундаментальную теорию, которая получила широкое признание, большое практическое применение и продолжает интенсивно развиваться.

Аналогия между термодинамической энтропией (энтропией Клаузиуса), энтропией вероятности состояний (энтропией Планка) и информационной энтропией (энтропией Шеннона) сыграла определенную положительную роль в формировании концепции организации, упорядочения и случайности.

И. Пригожин показал, что нелинейные неравновесные процессы способны порождать макроорганизацию, для которой можно сформулировать условия устойчивости. Если эти условия не выполняются, могут возникнуть новые упорядоченные структуры, и т. д. Современные математические методы позволяют описывать такие процессы, но не позволяют определять, по какому из возможных путей пойдет развитие от неустойчивых точек. Система как бы «выбирает» свое дальнейшее поведение, и то, что аппарат описания процесса допускает возможность такого выбора, свидетельствует о несовершенстве наших физических знаний, в частности знаний об энтропии как «меры организации».

Представление об энтропии эволюционировало вместе с представлением об энергии — основной категории естествознания.

Под энергией понимается общая мера различных процессов и видов взаимодействия. Энергия позволяет измерять различные физические формы движения и взаимодействия единой мерой. Энергия есть первичная категория, количественно характеризующая фундаментальные свойства материального мира. Отсюда — по аналогии — возникло определение энтропии как меры «беспорядка», «деорганизации» физической системы, а негэнтропии как меры организации.

Категории движения и покоя вполне обоснованы физически, но понятие организации физического обоснования и объяснения не имеет. Когда говорят о мере,

прежде всего предполагается возможность измерения («физика — это отклонение стрелок»). Энтропия — единственная физическая величина, которая не измеряется, а вычисляется.

И все же благодаря энтропии мы нащупываем путь к сущности организации материи.

Определенную роль в этом смысле сыграла теория информации. Словарное определение термина «информация» многозначно:

1) совокупность каких-либо сведений, знаний о чем-либо;

2) сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и переработки;

3) совокупность количественных данных, выражаемых при помощи цифр или кривых, графиков и используемых при сборе и обработке каких-либо сведений;

4) сведения, сигналы об окружающем мире, которые воспринимают организмы в процессе жизнедеятельности;

5) в генетике — совокупность химически закодированных сигналов, передающихся от одного живого объекта другому (от родителей потомкам) или от одних клеток, тканей, органов другим в процессе развития особи;

6) в математике, кибернетике — количественная мера устранения энтропии (неопределенности), мера организации системы;

7) в философии — свойство материальных объектов и процессов сохранять и порождать определенное состояние, которое в различных вещественно-энергетических формах может быть передано от одного объекта другому; степень, мера организованности какого-либо объекта (системы).

Вместе с тем физические аспекты информации не переставали привлекать внимания исследователей. Одним из важных следствий этого является тот вывод, что при физическом подходе нет надобности вводить новую меру количества информации. Вряд ли существуют природные явления или отрасли техники, в которых физические процессы переноса и преобразования информации не играли бы выдающейся роли. Более того, невозможно отличить — не только теоретически, но и практически — энергетическое или силовое воздействие от последствий получения информации, заключенном в этом воздействии. Проблемы причинности и физической сущности пространства и времени тесно связаны с категорией информации, которая

(независимо от терминологии) используется естествоиспытателями с незапамятных времен.

Тем не менее нельзя не отметить определенного эклектизма в обращении с этой категорией не только в различных областях науки, но и в практике, что породило впечатление о «нефизичности», «неосвязаемости» информации, вплоть до независимости существования и переноса информации от существования и переноса энергии; энергетические затраты в таких воззрениях связываются только с преодолением помех.

Чтобы в такой ситуации взяться за популяризацию проблемы энтропии, требуется, конечно, немалое мужество. Вот почему заслуживает всяческой поддержки замысел автора показать место и значение проблемы в современной науке и особенно в естествознании.

Энтропию автор трактует скорее как гносеологическую, чем физическую категорию, что позволяет ему ненавязчиво и убедительно раскрыть ее сущность и определить сферу применимости.

Мне кажется, что автору вполне удалась попытка о сложном рассказать просто и занимательно. Благодаря эмоциональному изложению сложные представления воспринимаются без особого напряжения. Автор несомненно владеет пером популяризатора, и книга его читается с интересом. Но основное достоинство книги я вижу в том, что она заставляет думать, а иногда и спорить. Ведь популярная литература, по-моему, и призвана прежде всего привлекать и приучать к размышлению, развивать пытливость и пробуждать любознательность.

Д. С. Конторов,
доктор технических наук
профессор

Евгений Александрович Седов

ОДНА ФОРМУЛА И ВЕСЬ МИР

Книга об энтропии

Главный отраслевой редактор *В. Демьянов*

Редактор *Н. Яснопольский*

Мл. редактор *М. Вержбицкая*

Художник *М. Дорохов*

Худож. редактор *М. Гусева*

Техн. редактор *Л. Солнцева*

Корректор *Н. Мелешкина*

ИБ № 5162

Сдано в набор 01.09.81. Подписано к печати 26.03.82. А 02693. Формат бумаги 84×108/32. Бумага тип № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 9,24. Усл. кр.-отт. 9,87. Уч.-изд. л. 9,74. Тираж 70 000 экз. Заказ 1—2236. Цена 35 коп. Издательство «Знание» 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 827707.

Головное предприятие республиканского производственного объединения «Полиграфкнига». 252057, Киев-57, ул. Довженко, 3.

Седов Евгений Александрович, кандидат технических наук, работает в области прикладной кибернетики, занимаясь конструированием автоматизированных систем управления технологическими процессами промышленности средств связи. В течение многих лет ведет технические исследования методов теории информации для анализа процессов формирования физических, биологических, лингвистических и дру-

35 коп.

гих упорядоченных систем. Автор многих статей, публиковавшихся как в специальных, так и в научно-популярных журналах "Знание—сила", "Химия и жизнь", "Наука и жизнь" и др. Им же написана монография "Эволюция и информация" и научно-популярные книги "Занимательно об электронике" и "Репортаж с ничейной земли", многократно издававшиеся в нашей стране и за рубежом.

Е. СЕДОВ ОДНА ФОРМУЛА И ВСЬ МИР